

**DESARROLLO DE UN BIPEDESTADOR PARA MANTENER LA SALUD DE LOS
MIEMBROS INFERIORES EN PERSONAS CON LESION MEDULAR INCOMPLETA.**

**LUISA FERNANDA ARANGO FERNÁNDEZ
MARÍA CLAUDIA DUARTE VILLA**

**UNIVERSIDAD EAFIT
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE DISEÑO DE PRODUCTO
2011**

**DESARROLLO DE UN BIPEDESTADOR PARA MANTENER LA SALUD DE LOS
MIEMBROS INFERIORES EN PERSONAS CON LESION MEDULAR INCOMPLETA.**

**LUISA FERNANDA ARANGO FERNÁNDEZ
MARÍA CLAUDIA DUARTE VILLA**

Proyecto de grado para obtener el Título de Ingenieras de Diseño de Producto

**ASESOR:
SANTIAGO CORREA VÉLEZ
DR. EN INGENIERÍA MECÁNICA Y FABRICACIÓN**

**MEDELLÍN
UNIVERSIDAD EAFITT
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE DISEÑO DE PRODUCTO
2011**

Nota de Aceptación

Firma del Asesor

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Medellín, Noviembre 28 de 2011

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros padres por el apoyo emocional, intelectual y económico durante el desarrollo del proyecto, al Asesor Santiago Correa por su paciencia y supervisión, a Cristian Yesid Castrillón por toda su colaboración durante el desarrollo de éste, al señor Nelson Cano y a todo el equipo de NELCA que hicieron posible la fabricación del bipedestador y su correcto funcionamiento. Finalmente, agradecemos muy especialmente a la Fundación Amigos de los Limitados Físicos, las fisioterapeutas y los pacientes que nos brindaron el espacio, disposición y tiempo para desarrollar nuestro proyecto.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
1. ANTECEDENTES	16
2. JUSTIFICACIÓN	19
3. OBJETIVOS	22
3.1 Objetivo General	22
3.2 Objetivos Específicos	22
4. METODOLOGÍA	23
5. ESTADO DEL ARTE	25
6. DESARROLLO DEL BIPEDESTADOR PRELIMINAR	30
6.1 Definición del Usuario	30
6.1.1 Lesión Medular vértebras cervicales	31
6.1.2 Lesión medular vértebras torácicas	32
6.1.3 Lesión medular vértebras lumbares	33
6.2 Jerarquización de necesidades	34
6.3 Síntesis Formal	35
6.3.1 Mood boards	35
6.3.2 Referente	36
6.4 Síntesis Funcional	37
6.4.1 PDS	37
6.4.2 Árbol de funciones	42
6.4.3 Antropometría	43
6.4.4 Propuesta arquitectura	45
6.4.5 Matriz Morfológica	46
6.5 Selección del Concepto	48
6.5.1 Propuestas de Diseño	48
6.5.2 Documentación de la propuesta preliminar final	50
6.6 Fase diseño de detalle	54
6.6.1 Cálculos de ingeniería	54
6.6.2 Modelación	56
6.6.3 Simulación	59
6.6.4 Análisis FEA (Finite Element Analysis)	59
6.7 Fabricación prototipo funcional	61

7. PROTOCOLO DE PRUEBAS DE USUARIO	63
7.1 Pruebas de Inspección visual	63
7.2 Pruebas de funcionamiento	65
8. REDISEÑO	69
9. MATRIZ DE CUMPLIMIENTO DE PDS	72
CONCLUSIONES	76
BIBLIOGRAFIA	80
ANEXOS	84

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estado del arte Bipedestadores	26
Tabla 2. Especificaciones de Diseño de Producto (PDS) para Bipedestador.....	38
Tabla 3. Matriz Morfológica	46
Tabla 4. Matriz de cumplimiento de PDS.....	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Paciente hipotónico con ligamentos acortados por falta de terapia física.	20
Figura 2. Metodología para el Proyecto Desarrollo de un bipedestador para mantener la salud de los miembros inferiores en personas con lesión medular incompleta.....	24
figura 3. Tomado de Atlas de Anatomía Humana, Editorial Medica Celsus; Medillust Pág. 189.....	31
Figura 4. Lesión Medular en Vértebras Cervicales.....	32
Figura 5. Lesión Medular a nivel de vertebras torácicas	33
Figura 6. Lesión a nivel de vértebras lumbares y sacras.....	33
Figura 7. Paciente en situación de discapacidad (Lesión Medular)	34
Figura 8. Jerarquización de necesidades	35
Figura 9. Mood Boards: Estilo de Vida, Tema Visual y Usabilidad	36
Figura 10. Referente formal: Ejercitarse	37
Figura 11. Árbol de Funciones: Ejercitar	42
Figura 12. Ergónomo.....	43
Figura 13. Dimensiones antropométricas de una persona adulta.....	44
Figura 14. Distancias para acceso en silla de ruedas	44
Figura 15. Arquitectura de producto	45

Figura 16. Propuestas de diseño para bipedestador	49
Figura 17. Propuesta de evolución de diseño uno (1).....	50
Figura 18. Propuesta de evolución de diseño dos (2).....	53
Figura 19. Sistema de poleas que permite levantar cada pie.	55
Figura 20. Isométrico Bipedestador	57
Figura 21. Vistas lateral y frontal de modelación preliminar de bipedestador.	58
Figura 22. Sistemas del Bipedestador.....	59
Figura 23. Análisis de elementos finitos a piezas sometidas a mayor esfuerzo.....	60
Figura 24. Análisis de elementos finitos a pieza principal del sistema de la silla.....	61
Figura 25. Prototipo funcional del Bipedestador.....	62
Figura 26. Usuario con lesión medular incompleta realizando inspección visual....	64
Figura 27. Usuario con lesión medular incompleta que no puede acceder al bipedestador por el diseño de su silla de ruedas.....	64
Figura 28, Figura 29 y Figura 30. Falla en el sistema que genera movimiento indeseado en los pies.....	66
Figura 31. Generación de puntos de presión en el paciente.	67
Figura 32. Usuario que logró la posición bípeda sin ayuda externa	67
Figura 33. Sistema para bajar la silla del bipedestador.	68
Figura 34. Isométrico Bipedestador rediseñado	69
Figura 35. Vistas lateral y frontal Bipedestador Rediseñado.....	70

Figura 36. Sistemas del Bipedestador rediseño.....	71
---	-----------

GLOSARIO

Arco de movimiento: La amplitud de movimiento (grado de recorrido) o desplazamiento angular/axial total permitido por cualquier par de segmentos corporales (o palancas óseas) adyacentes.

Articulación (coyuntura): El lugar de unión/contacto entre dos o más huesos, tejido cartilaginoso, o cartílago y hueso.

Bipedestador: Dispositivo que facilita el cambio de postura y que permite practicar el enderezamiento del tronco y su mantenimiento activo contra la gravedad.

Contractura: Contracción prolongada e involuntaria de uno o de varios músculos, sin lesión de la fibra muscular.

Discapacidad: Pérdida, ausencia o reducción observable, debida a una deficiencia u otras causas, de realizar una actividad dentro de márgenes de normalidad.

Distrofia muscular: Grupo de enfermedades, todas hereditarias, caracterizadas por una debilidad progresiva y un deterioro de los músculos esqueléticos, o voluntarios, que controlan el movimiento. Dependiendo de la enfermedad, puede afectar a diferentes edades, severidad de los síntomas diferente, músculos afectados y rapidez de progresión. La Distrofia Muscular más frecuente y más grave es la distrofia Muscular de Duchenne.

Espasticidad: Hipertonía muscular, de origen central, con aumento de la resistencia al movimiento.

Extensión: Aumento en el ángulo de la articulación

Fisioterapia: Método curativo por medios naturales, como el aire, el agua, la luz, etc., o mecánicos, como el masaje, la gimnasia, etc.

Flexión: Disminución en el ángulo de la articulación.

Lesión Medular: Es el daño que se presenta en la médula espinal, que conduce (según su gravedad) a la pérdida de algunas funciones, movimientos y/o sensibilidad. Normalmente estas pérdidas se presentan por debajo del nivel de la lesión.

Lesión Medular Incompleta: Es cuando prevalece algo de funciones debajo del nivel primario de la lesión. Una persona con una lesión incompleta puede ser capaz de mover más un miembro que el otro; puede sentir partes del cuerpo que no puede mover, o puede tener más funciones en un lado del cuerpo que en el otro.

Movilización: Describe la aplicación de una fuerza a través de planos rotatorios o transitorios de un movimiento articular.

Movilización articular: Tracción pasiva y/o movimientos de deslizamientos aplicados en las superficies articulares que mantienen o restauran el juego normal articular permitido por la cápsula, de manera que puede llevarse a cabo el mecanismo de rodar-deslizar mientras se mueva el individuo.

Terapia física: También conocida como rehabilitación funcional, es un programa diseñado para ayudar al paciente a mejorar o mantener sus capacidades funcionales (por ejemplo, actividades de la vida diaria). La terapia física incluye el desarrollo de la fuerza, flexibilidad y resistencia, así como el aprendizaje de la biomecánica apropiada (por ejemplo, la postura) para lograr la estabilidad de la columna y prevenir las lesiones.

Tono muscular: Grado normal de tensión de los músculos en reposo.

RESUMEN

El presente proyecto de grado muestra la investigación, desarrollo, diseño y fabricación de un bipedestador, para personas con lesión medular incompleta afectados a partir de la vértebra cervical seis (6), es decir que presentan movimiento reducido en brazos, poco control del tronco y parálisis en miembros inferiores, con el fin de proporcionarles un aparato ortopédico que les permitiera realizar terapia física tanto en miembros inferiores como superiores, y así mantener los arcos de movimiento, evitar contracturas, músculos espásticos, acortamiento en tendones, entre otras complicaciones que se presentan por la falta de ejercicio.

A través de la observación directa y entrevistas a personas en situación de discapacidad diagnosticadas con lesión medular incompleta, se encontraron diversas necesidades, que permitieron desarrollar el PDS (Especificaciones de Diseño de Producto) para entrar a diseñar y fabricar el bipedestador por medio de la metodología de diseño establecida. Una vez diseñado se realizaron pruebas con estas personas para evaluar el desempeño, el diseño, la ergonomía, la accesibilidad entre otras características del bipedestador con las cuales se encontraron aspectos a mejorar y se realizó un rediseño del mismo.

Palabras Clave: Bipedestador, Lesión Medular, Vertebrae, Aparato Ortopédico, Miembros Superiores e inferiores, discapacidad.

ABSTRACT

This degree project shows the investigation, development, design and fabrication of a stander, for people with incomplete spinal cord injury affected from cervical vertebra six (6), ie that people present reduced movement in arms, little trunk control and paralysis in low members, for the purpose of providing them orthopedic device wich allow them to realize physical therapy in low members as well as high members, and so keep the movement arches, avoid contractures, muscles spastic, shortening of tendons, and other complications that occur in the lack of exercise.

Through direct observation and interviews with people diagnosed disability status with incomplete spinal cord injury, diverse needs were found, which allow develop the PDS (Product Design Specification) to enter to design and manufacture the stander by the established design methodology.

Once designed, tests were realized with this people to evaluate the performance, the design, the ergonomic, the accessibility and others stander features, which aspects for improvement were found and the redesign were realized as well.

INTRODUCCIÓN

Al observar personas en situación de discapacidad diagnosticadas con lesión medular incompleta, surgió la idea de investigar los motivos por los cuales estos pacientes van perdiendo el músculo y por consiguiente sus piernas se vuelven delgadas. Fue así como en la exploración de documentos sobre el tema, muy especialmente sobre terapia física y rehabilitación, se encontró como respuesta que por no ejercitarse perdían el tono muscular, el tono óseo y además padecían de otras implicaciones. Se planteó, entonces, la posibilidad de desarrollar un aparato ortopédico que les permitiera realizar terapia física y encontrar un centro que en Medellín atendiera en sus instalaciones a pacientes en esta situación, estableciendo contacto con la Fundación Amigos de los Limitados Físicos.

Allí se seleccionaron tres (3) pacientes con lesión medular incompleta que reciben atención y que requieren de terapia física, con los cuales se dio inicio el proceso de diseño de un bipedestador que les permitiera pararse y que al mismo tiempo usara la fuerza de los brazos y las manos para generar movimiento en las piernas, haciendo que la cadera, rodilla y tobillos, al igual que los brazos se ejercitaran. Usando la metodología de diseño desarrollada por estudiantes de Ingeniería de Diseño de Producto, en la materia Proyecto Especial durante el semestre 2009-2 y siguiendo sus fases se desarrollaron las actividades de cada una de estas, se fue desarrollando el concepto y evolucionándolo hasta llegar al producto final, un bipedestador, que cumpliera los requerimientos anteriormente descritos.

El bipedestador se evaluó a través de las pruebas de usuario con la colaboración de dos de las personas seleccionadas, encontrando algunas fallas en el diseño, las cuales permitieron identificar los aspectos a mejorar, generando la necesidad de hacer un rediseño para el correcto funcionamiento del mismo.

1. ANTECEDENTES

La discapacidad no está catalogada como una enfermedad o atributo de la persona, es una condición que encierra situaciones de tipo social, práctico y cultural negativos que limitan el desarrollo individual dentro de la sociedad; situación que altera el núcleo familiar del afectado al requerir de más recursos para su manutención y al mismo tiempo verse restringido como fuerza laboral, marginando así el goce efectivo de sus derechos fundamentales.¹

Actualmente la Organización Mundial de la Salud, se encuentra trabajando en reformar su filosofía y forma de trabajo para mejorar la calidad de vida de las personas con algún tipo de discapacidad, a través del fortalecimiento de compromisos de instituciones del sector médico en algunos países, buscando herramientas de rehabilitación que permitan el reintegro de estas personas a diferentes actividades, aportando una notable disminución en sus limitaciones.² Ya a nivel interno, el Ministerio de la Protección Social Colombiano desde el año 2003 ha venido trabajando en generar estrategias de superación, que incluyen la formulación de políticas, planes y programas que generen oportunidades a los afectados tanto en accesibilidad a espacios públicos como en integración social y rehabilitación.³

Según estadísticas del DANE, para el año 2005 existían 2'632.255 personas con discapacidad de algún tipo, equivalentes al 6,4% de una muestra de 41'242.948 personas en Colombia y un 29.3% de esta cifra, es decir 770.128 sufrían parálisis o ausencia de

¹ Colombia. Documento Conpes social 80. Política Pública Nacional de Discapacidad, Bogotá, D.C., 26 Julio de 2004. Disponible en internet en <http://www.dnp.gov.co/PortalWeb/Portals/0/archivos/documentos/Subdireccion/Conpes%20Sociales/080.pdf>. Última consulta: 22 de octubre de 2009

² Organización Panamericana de la Salud en las Américas. La Salud en las Américas Edición 2002. Vol. I. ISBN 92 75 31587 6 Código: PC 587.p 193

³ Colombia. Documento Conpes social 80. Política pública nacional de discapacidad Bogotá, D.C., 26 Julio de 2004. Disponible en internet en <http://www.dnp.gov.co/PortalWeb/Portals/0/archivos/documentos/Subdireccion/Conpes%20Sociales/080.pdf>. Última consulta: 22 de octubre de 2009

miembros inferiores.⁴ La parálisis es la reducción de la capacidad motora en una parte específica del cuerpo, sea por una lesión o enfermedad del sistema nervioso, puede ser total o parcial, según el nivel del daño. Las personas que la padecen, pueden presentar distintas complicaciones a corto y mediano plazo, dentro de las cuales se encuentran en primer lugar las físicas que son: incontinencia (vejiga o intestinos), disfunción sexual (ambos sexos), problemas para respirar, dificultades para sentarse en forma correcta e imposibilidad de desplazarse y en segundo lugar las psicológicas, como, aislamiento social, ausencia de apoyo emocional, aumento de la dependencia hacia los demás, entre otros. A largo plazo también aparecen problemas adicionales, si no se sigue con un proceso de rehabilitación continuo, tales como úlceras por presión (escaras), miembros hipertónicos (Aumento del tono muscular) e hipotónicos (Disminución del tono muscular), neumonía, infección de las vías urinarias, debilitación de los huesos (Osteoporosis), contracturas y dolor crónico.⁵

Frente a los servicios de rehabilitación, las Empresas Promotoras de Salud no otorgan tratamientos a término indefinido, programando un número determinado de sesiones que no garantizan una mejoría, dejando a las personas en un tratamiento incompleto, teniendo que acudir a fundaciones y centros de ayuda para personas con discapacidad, de los cuales hay muy pocos en la ciudad y no cuentan con los equipos suficientes y especializados para atender a estos, realizando terapias grupales con un solo fisioterapeuta, que no les proporciona una atención minuciosa y buscan es dar una orientación de lo que el paciente debería realizar en su hogar y con ayuda de alguien.⁶

⁴Resultados del Censo de Población y Vivienda 2005 adelantado por el Departamento Nacional de Estadística, DANE, principales resultados sobre la situación de la discapacidad en Colombia. Septiembre 8 2006, Bogotá D.C. Pág. 6.

⁵ Smith Nathalie, MSN, RN. Cuadriplejía y Paraplejía.2009. Disponible en Internet en www.healthlibrary.epnet.com/. Última consulta: 20 de octubre de 2009.

⁶ Información suministrada en entrevistas realizadas a pacientes de programa de la comuna cuatro en la Fundación Amigos de los Limitados Físicos

En la actualidad en el mercado existen gran cantidad de aparatos ortopédicos que ayudan a la rehabilitación de pacientes con lesión medular incompleta, buscando evitar las complicaciones de esta condición, entre ellos están los bipedestadores que les permiten a los pacientes cambiar de posición, desplazarse dentro de su hogar, caminar y ejercitarse. Estos aparatos ortopédicos se encuentran en el mercado internacional, pero son de difícil obtención por parte de los pacientes por su alto costo, además dentro de los encontrados en el estado del arte, la mayoría no logran desarrollar un programa de rehabilitación continuo, permanente y completo, ya que el movimiento se limita únicamente a los miembros inferiores.

2. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, las personas que sufren lesión medular incompleta, tienen derecho a una sola sesión de terapia física al día, con una duración de una hora, durante un tiempo determinado por el especialista dependiendo de la naturaleza y la gravedad de la lesión, suministrada por la Empresa Promotora de Salud, en el Régimen Contributivo o Subsidiado al cual están afiliados, debiendo por ello cancelar el respectivo copago.⁷

El Acuerdo 08 del 2009, expedido por la Comisión de Regulación en Salud, por medio del cual se está dando cumplimiento a la Sentencia T-760 de 2008 proferida por la Honorable Corte Constitucional de Colombia, que empezó a regir el primero de enero del 2010, definió que son aparatos ortopédicos, su división, los principios rectores del Régimen de Seguridad Social en Salud y amplió la atención en terapia física y Fisioterapia en el régimen contributivo, la atención en terapia física para el Régimen subsidiado y trajo como novedad para óptima atención en el régimen contributivo, la atención domiciliaria en Fisioterapia en nivel dos de complejidad.⁸

Cuando la lesión medular incompleta se ha diagnosticado, es necesaria una continua atención por fisioterapia y terapia física para que no haya pérdida o aumento del tono muscular, ni deterioro óseo, pues la omisión de lo anteriormente dicho, disminuiría una eventual recuperación en el tiempo. Ver Figura 1.

⁷ Colombia. Ministerio de Salud. Resolución Numero 5261 de 1994. Agosto 5. Por la cual se establece el Manual de Actividades, Intervenciones y Procedimientos del Plan Obligatorio de Salud en el Sistema General de Seguridad Social en Salud. Artículo 84, Código 2911

⁸ Los Niveles de Atención en la Salud son la capacidad que tienen todos los entes prestadores de servicios de salud y se clasifican de acuerdo a la infraestructura, recursos humanos y tecnológicos. Segundo nivel de Atención, mediana complejidad: Son organismos de salud con profesionales más especializados. Atienden consulta externa, urgencias institucionales y comunitarias, partos, hospitalización, cirugías baja severidad, laboratorio, electro diagnóstico, rehabilitación, farmacia.

Figura 1. Paciente hipotónico con ligamentos acortados por falta de terapia física.



Fuente: Fotografía tomada en sesión de terapia física en la Fundación Amigo de los Limitados Físicos

Es aquí donde se ha detectado la necesidad de desarrollar un bipedestador, que le permita a personas con lesión medular incompleta continuar con su tratamiento en casa o desplazarse a lugares donde hayan aparatos ortopédicos que les ayuden a su rehabilitación, así mismo incentivar la participación de él y su familia, para que asuman de una manera activa su propia recuperación, utilizando directamente el producto, permitiéndole mayor independencia y bienestar en su proceso, tanto físico como mental.

Teniendo en cuenta las nuevas disposiciones en atención en Fisioterapia y Terapia Física que trae la legislación Colombiana, es claro entonces que debe haber una eficaz y suficiente oferta de artefactos y productos que atiendan con calidad la cobertura planteada, tales como los bipedestadores ya que su uso permite llevar a la persona a una postura bípeda, corregir los flexos de la cadera y rodillas así como la flexión plantar de los pies, evitando posibles deformidades, ésta también favorece la asimilación del calcio en los huesos, mejora la circulación sanguínea, previniendo osteoporosis y la aparición de úlceras decúbito, mejora la amplitud de movimiento en columna, caderas, rodillas y tobillos, disminuye el tono muscular anormal así como los espasmos y posibles contracturas, reduce la presión de los tejidos a través del cambio de posición, entre otros, mejorando la calidad de vida y permitiendo una posible recuperación de los pacientes con lesión medular incompleta.

Conforme a lo anterior, identificando y haciendo un análisis de los tipos de bipedestadores que ofrece el mercado presentados en la tabla 1 Estado del arte, se detecta la necesidad de ofrecer una clase de bipedestador que le permita al usuario objetivo, llegar a una posición bípeda y además realizar una serie de movimientos que lleven a los miembros inferiores del paciente a asumir una posición de 90° en flexión en cadera y rodilla y 0° en pie, esto a través del uso de los miembros superiores, como motor de movimiento, logrando así hacer una terapia completa del cuerpo.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Desarrollar un bipedestador que permita a las personas con lesión medular incompleta ponerse de pie y además realizar terapia física de miembros inferiores y superiores.

3.2 Objetivos Específicos

3.2.1 Conocer las motivaciones que llevan a persona con lesión medular incompleta a abandonar la terapia que hace que sus miembros inferiores no se atrofien totalmente, mediante entrevista y observación participante como mínimo a dos personas del personal médico de una institución relevante dentro de la ciudad de Medellín y por lo menos a dos pacientes atendidos por esta institución.

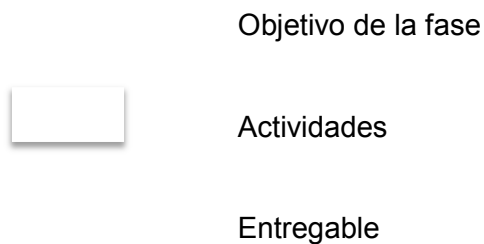
3.2.2 Orientar el producto a que pueda ser usado en el hogar o en cualquier centro de rehabilitación que genere independencia en los pacientes con lesión medular incompleta.

3.2.3 Construir un modelo funcional del bipedestador que permita realizar pruebas en pacientes con lesión medular incompleta, mediante la utilización de los talleres de diseño de productos de la Universidad Eafit.

3.2.4 Aplicar un protocolo de pruebas de usuario para validar el cumplimiento de las especificaciones de diseño de producto.

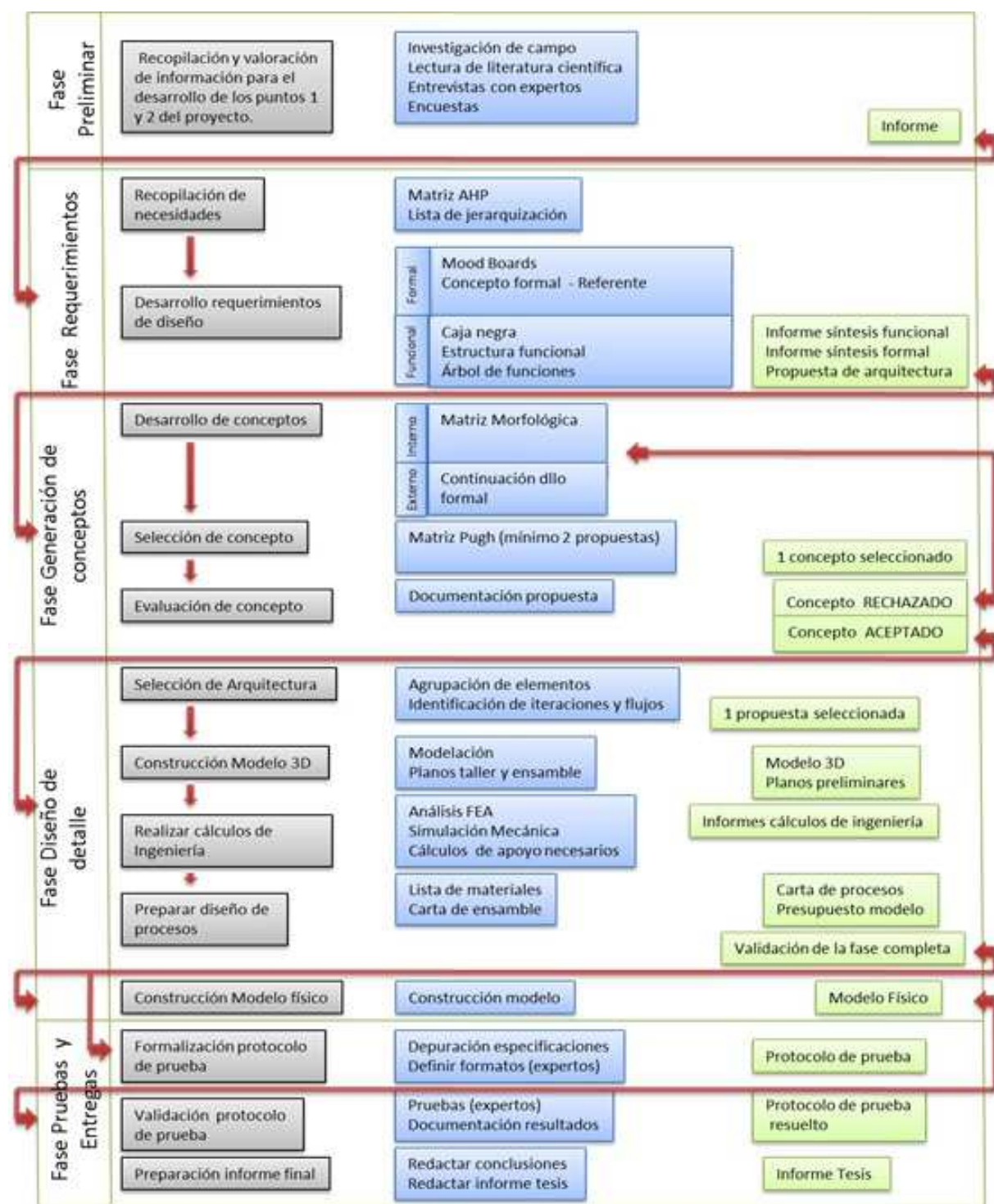
4. METODOLOGÍA

La metodología que se implementó en el proyecto fue desarrollada por estudiantes de Ingeniería de Diseño de Producto, en la materia Proyecto Especial durante el semestre 2009-2, formalizando y documentando el proceso de desarrollo de proyectos de Ingeniería en la Universidad Eafit. Esta es una recopilación de metodologías tales como Ulrich & Eppinger, Pahl G. and Beitz W y Ullman D.G, de las cuales se han tomado las partes más importantes según la experiencia de los estudiantes y profesores en proyectos anteriores. En la Figura 2 se presentan las cinco (5) fases del proyecto, con las actividades realizadas y los entregables como se describen a continuación:



La metodología se divide en cinco (5) fases: preliminar, requerimientos, generación de conceptos, diseño de detalle y pruebas y entregas, donde en cada una de ellas se busca cumplir un objetivo mediante la realización de diversas actividades que permiten generar unos entregables, conclusiones o resultados para llegar a una propuesta de diseño que cumpla con los requerimientos. Dependiendo de la evolución del proyecto no es necesario desarrollar todas las actividades.

Figura 2. Metodología para el Proyecto Desarrollo de un bipedestador para mantener la salud de los miembros inferiores en personas con lesión medular incompleta.





Fuente: Cuadro realizado por Luisa Arango y María Duarte



5. ESTADO DEL ARTE



Con el fin de conocer que se ofrece a nivel local e internacional en cuanto a bipedestadores, se realizó el estado del arte, para identificar aspectos y características relevantes de éstos, al mismo tiempo encontrar las debilidades y beneficios que no ofrecían y que se podrían desarrollar potencialmente. En la Tabla 1. Estado del arte Bipedestadores, se muestran algunos ellos y que en la actualidad se encuentran en el mercado, sus características, especificaciones, ventajas y precios, la mayoría no se distribuyen en Colombia y su obtención es de alto costo. Los bipedestadores tienen diferentes fines, algunos se usan para mantenerse de pie, desplazarse, ejercitar miembros inferiores u otros usos.



Después de realizar el estado del arte, identificamos que muy pocos Bipedestadores ofrecían autonomía al usuario y que además le brindaran la posibilidad de realizar una terapia física completa, tanto en miembros superiores como inferiores, ya que respondían a otras necesidades como desplazarse o simplemente ponerse de pie, pero no de ejercitarse. De igual forma la mayoría de usuarios de éstos tenían control total de su tronco facilitándoles el uso.

Tabla 1. Estado del arte Bipedestadores

Producto	Características	Especificaciones	Precio	USO y Ventajas
 <p>OVATION STAND</p>	<p>Bipedestador con correa que levanta directamente al individuo desde la silla de ruedas y permite a las personas incorporarse a una posición erguida.</p> <p>Indicado para:</p> <p>Adultos con lesión en la médula espinal, esclerosis múltiple, lesión cerebral traumática, espina bífida, infarto, etc.</p> <p>Individuos bariátricos.</p> <p>Personas con dificultad en la transferencia.</p> <p>Activación hidráulica</p>	<p>Dimension de la base 80x70cm.</p> <p>Peso de configuración standard. 61kg</p> <p>Tamaño de la mesita standard. 50x51cm.</p> <p>Color de la estructura. Negro, blanco y granate</p>	<p>3 940 €</p>	<p>Llevar al paciente a posición bipeda.</p> <p>Trabajar sobre la mesa de trabajo de pie.</p> <p>Desplazarse en forma bipeda mediante la ayuda de alguien</p>
 <p>EASYSTAND EVOLV</p>	<p>Ruedas giratorias, sistema hidráulico manual, asiento anatómico, soporte de rodillas abatible, reposapiés ajustables, bandeja con soporte de tronco, reposabrazos.</p>	<p>Altura de asiento. 55cm.</p> <p>Plataforma reposapiés. 61x84cm.</p> <p>Peso de la configuración estándar 49kg.</p> <p>Color del chasis. Gris oscuro.</p>	<p>4 500 €</p>	<p>Llevar a paciente con lesiones de mayor grado a posición bipeda.</p> <p>Trabajar sobre la mesa de trabajo de pie.</p> <p>Desplazarse en forma bipeda mediante la ayuda de alguien</p>

Producto	Características	Especificaciones	Precio	USO y Ventajas
 <p>DINAMICO BALANCE TRAINER</p>	<p>Marco postural y BALANCE-Trainer en un sólo dispositivo</p> <p>Función de balance con rigidez ajustable.</p> <p>Inicio y bloqueo de la función de balance con manilla en la mesa en 2 posiciones (6° y 12°)</p> <p>Chasis muy estable, con 4 ruedas gemelas giratorias con freno.</p> <p>Plataforma metálica con taloneras y fijaciones del pie.</p> <p>Mesa de madera con endiduar estomacal acolchada.</p> <p>Altura de la mesa ajustable mediante pistón a gas.</p>	<p>Medidas aprox. Largo x Ancho x Alto = 118 x 78 x 95-125 cm</p> <p>Peso de la configuracion estandar 71.6 kg</p>	<p>3 575 €</p>	<p>Mantener al paciente en una posicion bipeda.</p> <p>Trabajar sobre la mesa de trabajo de pie.</p> <p>Desplazarse en forma bipeda mediante la ayuda de alguien</p> <p>Permite a los pacientes ejercitar los musculos de la cadera al desafiar el equilibrio del paciente y moverse junto con el para mantenerlo en pie.</p>
 <p>PARAPLEJICO ESTATICO</p>			<p>810,00 €</p>	<p>Mantener al paciente en una posicion bipeda.</p>

Producto	Características	Especificaciones	Precio	USO y Ventajas
 <p>STANDY ELECTRO WING</p>	<p>Chasis de acero, altura regulable. Mesa con altura y profundidad regulable, extraíble. Soportes de rodillas regulables. Bloqueo de seguridad. Ruedas de transporte Electrico</p>	<p>Dimension de la base 103x95cm. Peso de configuración standard. 62kg Potente motor eléctrico. Color de la estructura. Negro, blanco y granate</p>	<p>4 300 €</p>	<p>Llevar al paciente a posicion bipeda y mantenerlo en la misma. Trabajar sobre la mesa de trabajo de pie. Desplazarse en forma bipeda mediante la ayuda de alguien</p>
 <p>BIPEDESTADOR PRONO</p>	<p>Estructura con ruedas equipadas con frenos Acolchado torácico Apoyos laterales de tronco regulable Separador de rodillas Reposapiés con sandalia con cinchas estabilizadoras Bandeja delizable Cinturón de seguridad Inclinación máximo de 30° con respecto a la vertical. Fabricacion en acero 3 tamanos segun talla S, M, L</p>	<p>Medidas aprox. Largo x Ancho x Alto = 130 x 55 x 118 cm Peso de configuración standard. 33kg</p>	<p>1 100 €</p>	<p>Mantener al paciente en una posicion bipeda. Trabajar sobre la mesa de trabajo de pie. Desplazarse en forma bipeda mediante la ayuda de alguien. Realizar movimientos de inclinacion prono y supinar.</p>

Producto	Características	Especificaciones	Precio	USO y Ventajas
 <p>STRUZZO</p>	<p>Este equipo le permite al usuario adoptar y mantener una posición vertical así como moverse tanto en el hogar como en superficies interiores independientemente, sin la ayuda de un tercero. Fácil ajuste sin herramientas. Funciona de forma neumática y se desplaza mediante un motor eléctrico</p>	<p>Medidas aprox. Largo x Ancho x Alto = 90.5 x 59.5 x 132 cm Ajuste de altura: 20 cm Altura mínima de asiento: 38 cm Altura máxima de asiento: 58 cm. Peso: 70 kg</p>	<p>5 850 €</p>	<p>Llevar al paciente a posición bipeda y mantenerlo en la misma. Desplazarse de forma independiente.</p>
 <p>BUFFALO</p>	<p>Bipedestador que puede utilizarse tanto en decúbito supino como en decúbito prono. Buffalo está equipado con un pistón a gas que inclina suavemente el plano desde la posición vertical a la horizontal. Las bandas transversales y la pectoral sostienen al usuario cómodamente. El aparato se completa con una amplia gama de accesorios que garantiza un correcto soporte. Está disponible en 3 tamaños. Los tamaños 2 y 3 pueden también suministrarse en versión eléctrica.</p>	<p>Medidas aprox. Largo x Ancho x Alto = 135 y 90x85 x 65 cm Peso de configuración standard. 23kg</p>	<p>1 660 €</p>	<p>Llevar al paciente a una posición bipeda.</p>

Fuente: Clasificación realizada por Luisa Arango y María Duarte con información obtenida por internet.

Tecnum, Movilidad, rehabilitación, inversores y bipedestadores <http://www.tecnum.net/inversoresbipedestadores.php> [Citado el 17 de septiembre de 2011]

Ceapat, Catálogo de productos de apoyo, <http://www.catalogo-ceapat.org/clasificacion/04/48/08> [Citado el 17 de septiembre de 2011]

Guidominusval, Bipedestadores, <http://www.guidominusval.com/bipedestadores.html> [Citado el 17 de septiembre de 2011]

6. DESARROLLO DEL BIPEDESTADOR PRELIMINAR

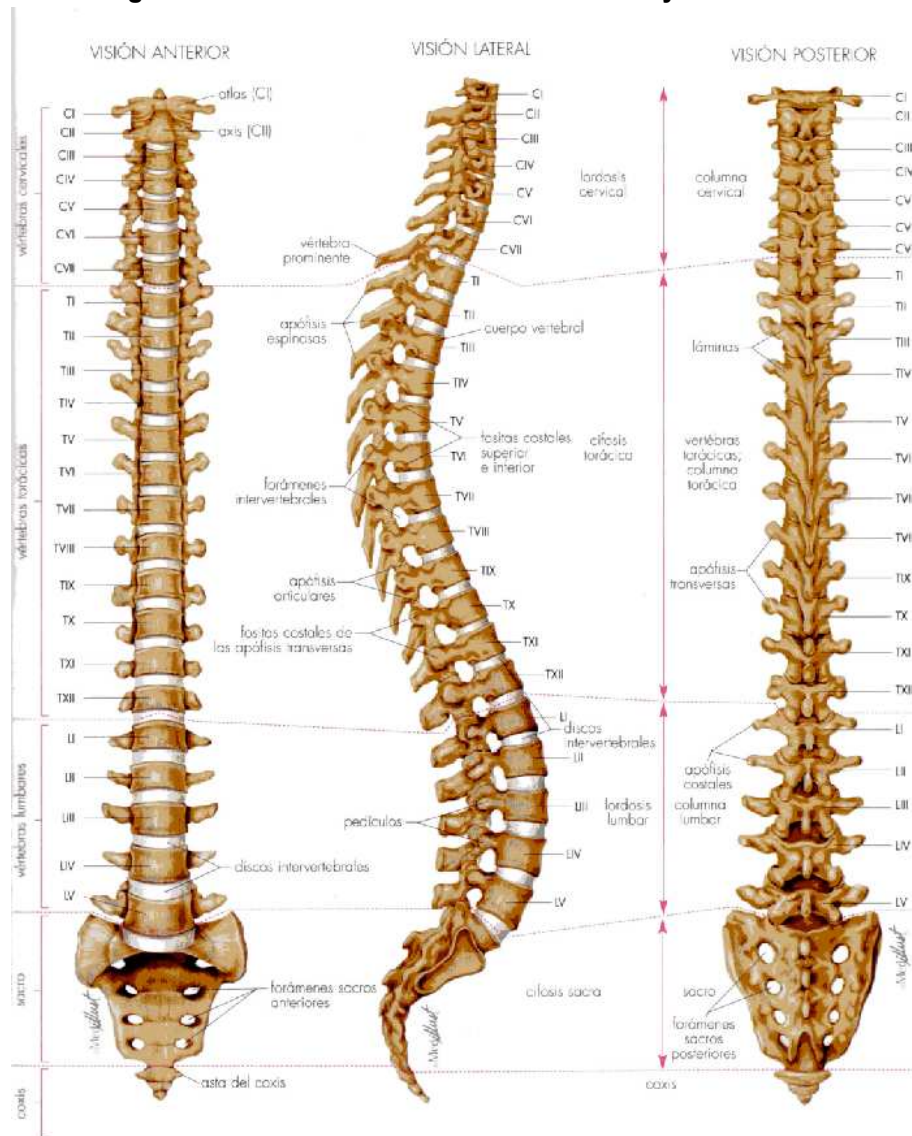
En esta fase habiendo identificado previamente que dentro de las terapias físicas ofrecidas por los sistemas de salud, la gran mayoría de los pacientes solo practican ejercicios básicos o que requieran la mínima intervención y ayuda de otras personas y teniendo definido la bipedestación y el movimiento de cadera y rodilla a 90° en flexión y tobillo en ángulo inicial 0° como los ejercicios básicos que pueden contribuir en un alto grado en la salud del paciente, se inicia con el desarrollo de un bipedestador que permita llevar al usuario a una posición en pie y realizar movimiento en sus piernas a través del ejercicio en sus brazos.

La primera etapa consiste en definir claramente quien será el usuario específico de éste aparato y cuáles son las limitaciones que puede tener para su operación.

6.1 Definición del Usuario

Se seleccionaron personas en situación de discapacidad con lesión medular incompleta, la cual ocasiona pérdida de algunas funciones, movilidad y sensibilidad en miembros inferiores. La columna vertebral está compuesta por vertebras, estas se dividen en cinco (5) grupos: las vértebras cervicales (C), las vértebras torácicas (T), las vértebras lumbares (L), las sacras y el coxis. En la Figura 3 se muestran estas divisiones.

Figura 3. Columna vertebral sus divisiones y sus vertebras



Fuente: Atlas de Anatomía Humana, Editorial Medica Celsus; Medillust Pág. 189

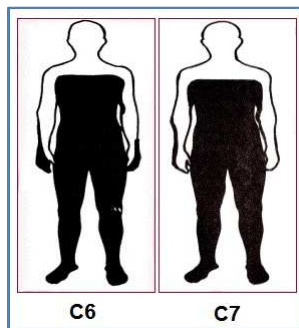
Estos pacientes presentan lesiones medulares a nivel de las siguientes vertebras, Ver figura 3 para identificar cada vertebra:

6.1.1 Lesión Medular vértebras cervicales

Las lesiones medulares cervicales normalmente causan pérdida de funciones en los brazos y piernas, resultando una cuadriplejia.

Cuando la lesión ocurre a nivel de la C6, permiten el control del puño, más no la funcionalidad de la mano. Las personas con lesión C7 pueden estirar los brazos, pero aún pueden presentar problemas de destreza en el uso de la mano y dedos.

Figura 4. Lesión Medular en Vértabras Cervicales



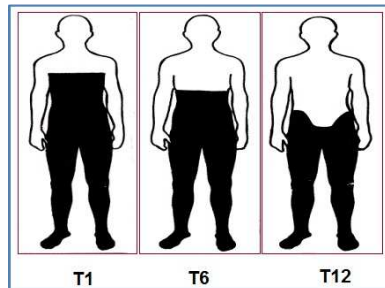
Fuente: Lesión medular básico, <http://www.lesionmedular.org/que-es-lesion-medular>

6.1.2 Lesión medular vértebras torácicas

Cuando ocurren lesiones a nivel torácico, generalmente afectan el pecho y las piernas, quedando la persona con una paraplejía.

Cuando la lesión es entre T1 y T8, normalmente hay control de brazos y manos, pero un mal control del tronco, como resultado de la carencia o deficiencia de control de los músculos abdominales. Las lesiones torácicas más bajas (T9 a T12) permiten un buen control de tronco y de músculos abdominales y el balance sentado es muy bueno.

Figura 5. Lesión Medular a nivel de vértebras torácicas

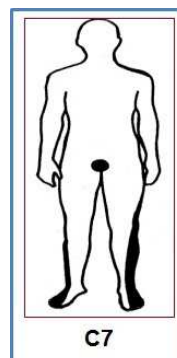


Fuente: Lesión medular básico, <http://www.lesionmedular.org/que-es-lesion-medular>

6.1.3 Lesión medular vértebras lumbares

Las lesiones lumbares y sacras producen disminución del control de los flexores de cadera y piernas.

Figura 6. Lesión a nivel de vértebras lumbares y sacras



Fuente: Lesión medular básico, <http://www.lesionmedular.org/que-es-lesion-medular>⁹

⁹ Organización Lesión Medular, Lesión medular básico, www.lesionmedular.org, [Citado el 10 de julio de 2011]

Figura 7. Paciente en situación de discapacidad (Lesión Medular)



Fuente: Fotografía tomada en sesión de terapia física en la Fundación Amigo de los Limitados Físicos

6.2 Jerarquización de necesidades

La jerarquización de necesidades se hace en base a la pirámide de Maslow y la observación participativa y entrevistas realizadas a personas que recibían atención en fisioterapia y terapia física en la Fundación Amigos de los Limitados Físicos, ésta pirámide presenta 5 niveles de satisfacción (Fisiológicas, seguridad, sociales, estima y autorrealización) que influyen en el comportamiento humano, donde los niveles inferiores casi siempre están a un nivel medio de satisfacción y a medida que aumentan son más difíciles de realizar.

Para los pacientes con lesión medular incompleta desde la base de la pirámide se encuentra limitado al no tener satisfechas sus necesidades más elementales tales como la excreción y la función sexual, dando así la posibilidad de tener un amplio rango de trabajo de diseño pudiendo atender varios niveles de la pirámide, priorizando las necesidades para plantear en el PDS (Product Design Especification). En la Figura 8, se muestran las necesidades jerarquizadas de las personas con lesión medular incompleta con las que se trabajó para el desarrollo de este proyecto.

Figura 8. Jerarquización de necesidades



Fuente: Pirámide elaborada por Luisa Arango y María Duarte

6.3 Síntesis Formal

6.3.1 Mood boards

La elaboración de los Mood Boards permite identificar y aclarar aspectos cotidianos de las personas en situación de discapacidad, en este caso personas con lesión medular incompleta. Esta identificación es necesaria en el proceso de diseño, ya que da una idea clara de las necesidades del usuario. En la Figura 9, se muestran los siguientes Mood Boards:

- Para ver los Mood Boards en un formato más grande (Ver Anexo A)

6.3.2 Referente

36

que esto genera. Todo lo anterior sirvió para realizar el proceso de diseño y la exploración formal. En la Figura 10 se muestra el Referente Formal. (Ver Anexo A)

Figura 10. Referente formal: Ejercitarse



Fuente: Realizado por Luisa Arango y María Duarte

6.4 Síntesis Funcional

6.4.1 PDS

Las Especificaciones de Diseño de Producto se desarrollaron a partir de observación participativa en La Fundación Amigos de los Limitados Físicos, en sesiones de fisioterapia realizadas a pacientes en situación de discapacidad, entre los cuales se hallaban personas con lesión medular incompleta. De igual forma se hicieron entrevistas que ayudaron a identificar aspectos importantes en el diario vivir de éstas personas y que después fueron plasmadas en una jerarquización de necesidades, según la pirámide de

Maslow. En la Tabla 2 se muestran las Especificaciones de Diseño de Producto que se deben tener en cuenta a la hora de diseñar y fabricar el bipedestador. (Ver entrevistas e información obtenida acerca de la terapia física en el Anexo B. Identificación pacientes)

Tabla 2. Especificaciones de Diseño de Producto (PDS) para bipedestador.

N	PDS				
	DESARROLLO DE UN BIPEDESTADOR PARA MANTENER LA SALUD DE LOS MIEMBROS INFERIORES EN PERSONAS CON LESION MEDULAR INCOMPLETA				
	NECESIDAD	REQUERIMIENTO	MÉTRICA	UNIDAD	VALOR
FUNCIONALIDAD Y DESEMPEÑO					
1	El paciente lo puede usar solo	El aparato permite ser operado con las manos del paciente	Fuerza máxima aplicada a los mecanismos	Newton	$X < 250$
		El aparato le brinda independencia al paciente	Número de personas que le ayudan	Unidades	$= 1$
2	El producto debe crear una experiencia de uso satisfactoria.	El aparato complementa la terapia física y refuerza el ejercicio en miembros inferiores	Subjetiva	Grado de satisfacción siendo 1 el mínimo y 5 el máximo[1] calificación	Mínimo 3
3	El producto representa un grado de dificultad para el usuario a la hora de manejarlo.	El paciente ejercita los miembros superiores	Fuerza ejercida para activar el bipedestador	Newton	100 a 200
4	Brinde al paciente la mayor cantidad de estímulos con respecto a la fisioterapia convencional.	El aparato lleva a la persona a posición bípeda y cadera y rodilla a 90° y tobillo a posición inicial o 0°	Comparación número de estímulos alcanzados después de una sesión[3]	NA	NA

5	El usuario puede controlar la activación y desactivación del producto.	El aparato recicla la energía generada con las manos para mover el resto del cuerpo	Mecanismos de accionamiento humano	%	100
6	Que evite que las articulaciones se peguen	El aparato ayuda a mantener el arco de movimiento en cada paciente [8]	Movilidad en articulaciones durante 1 año de uso	Grados en flexión	De 0° a 90
7	Que evite que los músculos se adelgacen o engorden	El aparato evita que los músculos se contracturen	Tiempo de uso Vs tiempo de evaluación	Años	1
8	Que me ayude a recuperar	El aparato mantienen los arcos de movimiento actuales en miembros inferiores y evita la degeneración	Tiempo de uso Vs grado de salud en miembros inferiores	Meses	6
9	Que evite que los huesos se me degeneren	El aparato debe llevar al paciente a una posición bípeda.	Articulaciones en posición 0° (completamente vertical)	Grados	0
MANUFACTURA					
10	El producto sea fácil de ensamblar	El producto es de fácil ensamble	# de mecanismos	Cantidad	$X < 5$
11	Las piezas sean fáciles de construir y de conseguir	Las piezas se construyen con procesos de manufactura convencionales.	Procesos especiales necesarios para la construcción.	Cantidad	$X < 1$
MATERIALES					
12	Los materiales sean resistentes	Los materiales del aparato deben resistir un peso aproximado de 100 Kg	Peso	Kg.	$X \geq 100$

13	Los materiales sean duraderos	Los materiales del aparato resisten múltiples ciclos de uso	Tiempo de vida útil	Años	$X \geq 5$
PESO Y TAMAÑO					
14	El producto tenga un tamaño adecuado	El aparato puede contener a una persona de forma segura	Longitud	Milímetros	1800X635X2355
15	El producto pueda ser utilizado en diferentes lugares.	La máquina es desarmable	Número de partes para ensamble y desensamble	Cantidad	$10 \geq X$
SEGURIDAD Y ERGONOMÍA					
16	Le genere al paciente seguridad	El aparato posee sistemas de sujeción para sostener al paciente	Puntos de sujeción	Cantidad	$X \geq 3$
17	No produzca aparición de úlceras por presión	Superficies acolchadas que reducen la presión en la piel superior a la de los capilares cutáneos	Tiempo de exposición máxima	Minutos	15 min
18	El paciente se pueda acomodar con todos los elementos de uso del producto.	El paciente se siente cómodo usando el producto	Distancia entre puntos de sujeción ajustables al usuario	Milímetros	5
19	Es estable al usarse	El bipedestador no se voltee durante el uso	Distancia del centro de masa del usuario y el bipedestador	Centímetros	$X > 20$
APARIENCIA ESTÉTICA					

20	Que no sea feo	Armonía visual entre el producto, el usuario, su uso y el contexto.	Aceptación por parte del usuario	Subjetivo en escala de 1 a 5	X>3
21	Que sea fácil de entender	El lenguaje visual de la máquina debe ser de fácil comprensión para el usuario.	Tiempo usado por el usuario para entender el uso del bipedestador	Minutos	2
MANTENIMIENTO					
22	Que el producto sea fácil de limpiar	El producto permite realizar constantes limpiezas y desinfección.	Resistencia al alcohol	Años	4
23	Que las piezas sean de fácil intercambiar	Fácil sustitución	Tiempo de ensamble y desensamble	Minutos	10

Fuente: Realizada por Luisa Arango y María Duarte

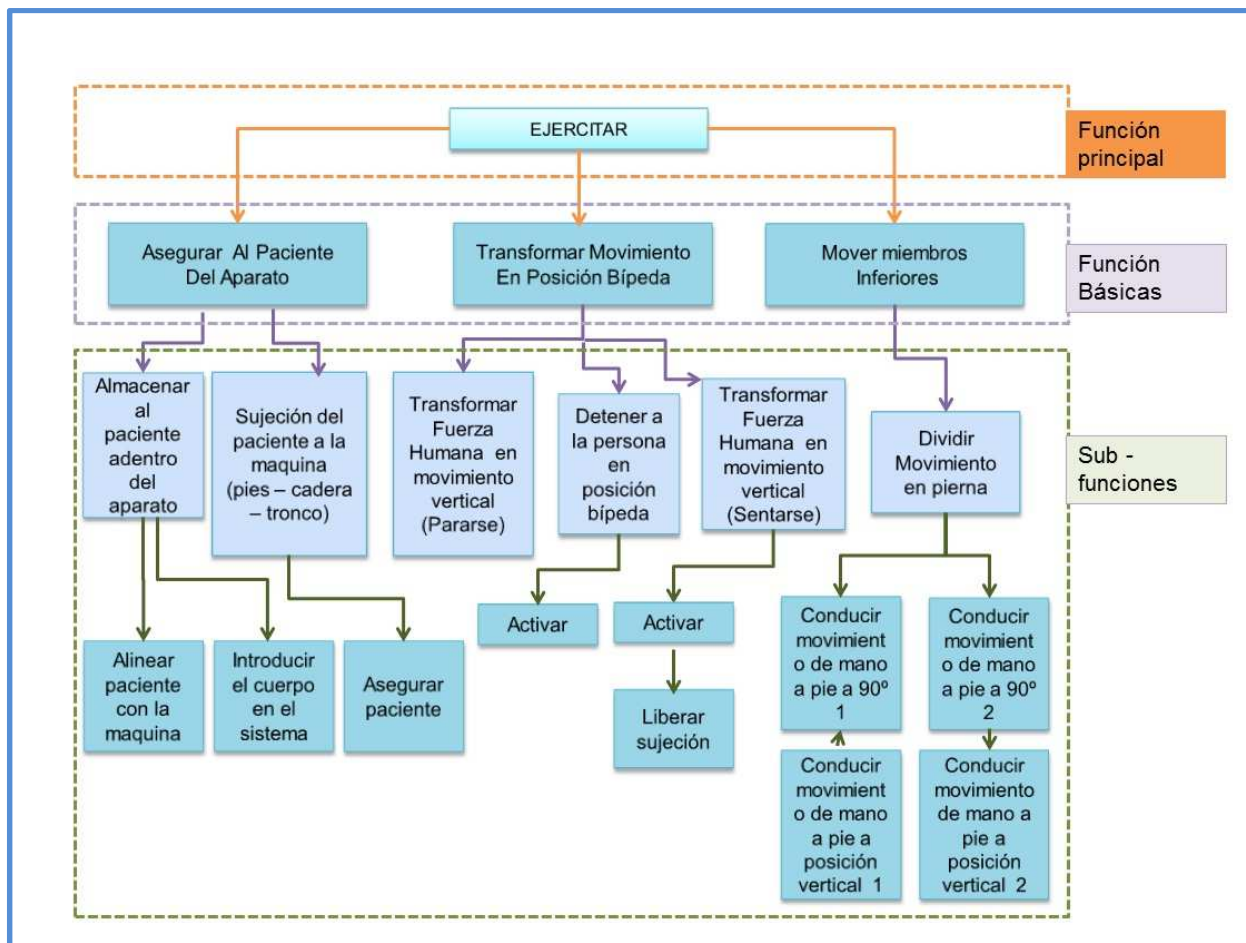
- [1] La escala de medición de la experiencia de uso se desarrolló con base en el protocolo de pruebas de usuario.
- [2] La escala de medición del grado de dificultad de uso se desarrolló con base en el protocolo de pruebas de usuario.
- [3] La comparación de estímulos que brinda el producto con respecto a la técnica convencional se desarrolló con base en el protocolo de pruebas de usuario.
- [4] La escala de medición de la facilidad de ensamble se desarrolló con base el protocolo de prueba de usuario.
- [5] La escala de medición del grado de seguridad que infunde en el paciente se desarrolló con base en el protocolo de pruebas de usuario.
- [6] La validación de cumplimiento de medidas antropométricas se desarrolló con base en el protocolo de pruebas de usuario.
- [7] La escala de medición del nivel de afinidad con el producto se desarrolló con base en el protocolo de pruebas de usuario.

[8] Arco de movimiento: La amplitud de movimiento (grado de recorrido) o desplazamiento angular/axial total permitido por cualquier par de segmentos corporales (o palancas óseas) adyacentes.

6.4.2 Árbol de funciones

El árbol de funciones identifica la función principal, las funciones básicas y las demás funciones que permiten que las anteriores sean realizadas, es decir, el correcto funcionamiento de todo el sistema.

Figura 11. Árbol de Funciones: Ejercitar



Fuente: Realizado por Luisa Arango y María Duarte

6.4.3 Antropometría

A través de la antropometría se describen las dimensiones que por estadística se establecen para un grupo determinado de la población. Se identificaron las más relevantes para el usuario definido y que sirvieron para implementar una ergonomía ajustada a su condición de discapacidad, es decir, una correlación entre el paciente y el producto diseñado, considerando fácil acceso, operación y correcto funcionamiento.

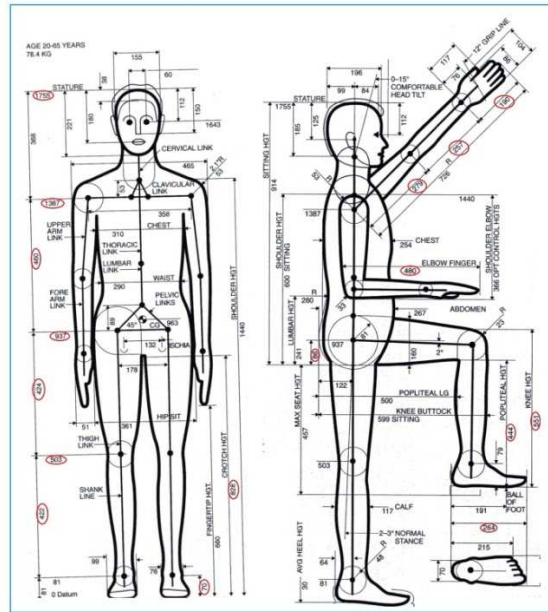
En este punto se tomó las medidas de un percentil medio de estatura colombiana, equivalente a 1.87 cm (véase figuras 13 y 14 señaladas en rojo) y se construyó un ergónomo en escala 2.5:1, (Ver Figura 12) que permitió verificar distancias y movimientos durante la fase de diseño.

Figura 12. Ergónomo



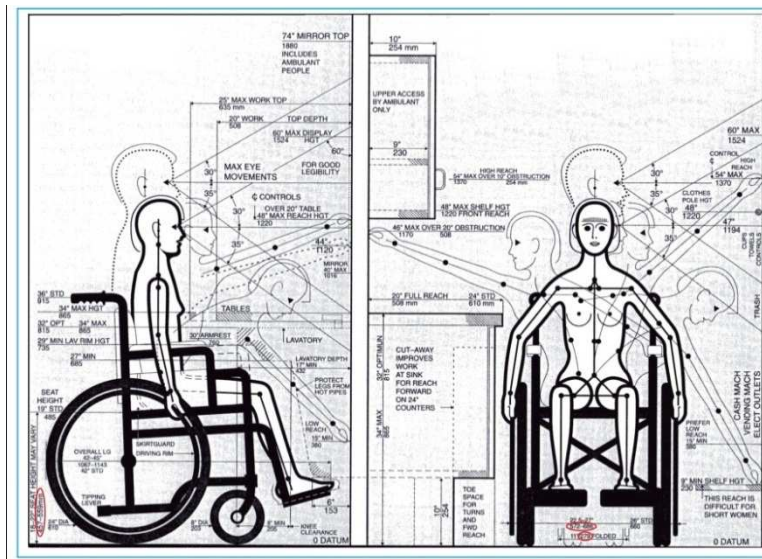
Fuente: Realizado por Luisa Arango y María Duarte

Figura 13. Dimensiones antropométricas de una persona adulta



Fuente: TILLEY, Alvin R. HENRY DREYFUSS ASSOCIATES. The Measure of Man and Woman. Human Factors in Design. New York.:John Wiley & Sons 2002. Pág 12. ISBN 0-471-09955-4

Figura 14. Distancias para acceso en silla de ruedas



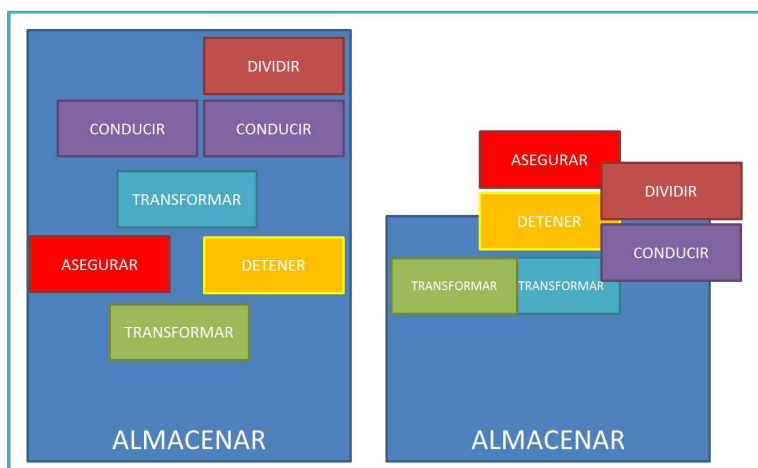
Fuente: TILLEY, Alvin R. HENRY DREYFUSS ASSOCIATES. The Measure of Man and Woman. Human Factors in Design. New York.:John Wiley & Sons 2002. Pág 19. ISBN 0-471-09955-4.

6.4.4 Propuesta arquitectura

La arquitectura de producto dentro de este proyecto busca definir los subsistemas que interactúan con el paciente y desde qué posición, donde ya se establecieron unas actividades básicas dentro del árbol de funciones y que deben ser realizadas por el bipedestador, a las mismas se les asigna un color para luego ser asociadas con elementos que cumplan con la función y generar una ruta crítica.

Después de identificar estas funciones se presenta 2 propuestas, una pensando en la situación del usuario y teniendo en cuenta elementos del mood board de tema visual como robustez, donde la actividad puede ser desarrollada desde un sistema completo, que le brinde seguridad y cumpla su función o un sistema menos robusto, que realice todas las actividades propuestas desde el nivel de afectación de la lesión presentada hasta el suelo. Ver figura 15.

Figura 15. Arquitectura de producto



Fuente: Realizado por Luisa Arango y María Duarte

6.4.5 Matriz Morfológica

La matriz morfológica es una herramienta que permite visualizar las actividades que debe realizar el bipedestador a través de elementos que cumpla la función. La Tabla 3 muestra la matriz morfológica utilizada para el desarrollo del bipedestador, donde cada actividad presenta 4 opciones de elementos con las cuales se puede realizar.

Esta matriz morfológica permitió construir de manera sencilla una ruta de elementos para el desarrollo de las diferentes propuestas de diseño, tomando distintas rutas, una por cada propuesta de diseño.

Tabla 3. Matriz Morfológica







Fuente: Realizado por Luisa Arango y María Duarte

Ruta Critica 1

Ruta Critica 2

6.5 Selección del Concepto

6.5.1 Propuestas de Diseño

Se presentaron 3 alternativas de diseño (alternativa 1, 2, 3, ver figura 17), desarrolladas a partir de las tres funciones básicas definidas en el árbol de funciones, que son seguridad,

bipedestación y movimiento de piernas. Al realizar una evaluación de funcionalidad, se tomó elementos del principio de trabajo de cada una de ellas, para utilizarse como punto de partida de una cuarta propuesta (alternativa 4, ver figura 16). A partir de la cuarta propuesta se inició un proceso de evolución en el diseño, tomando diferentes rutas críticas, hasta llegar a la propuesta que mejor respondiera a las necesidades, establecidas en el PDS.

Figura 16. Propuestas de diseño para bipedestador



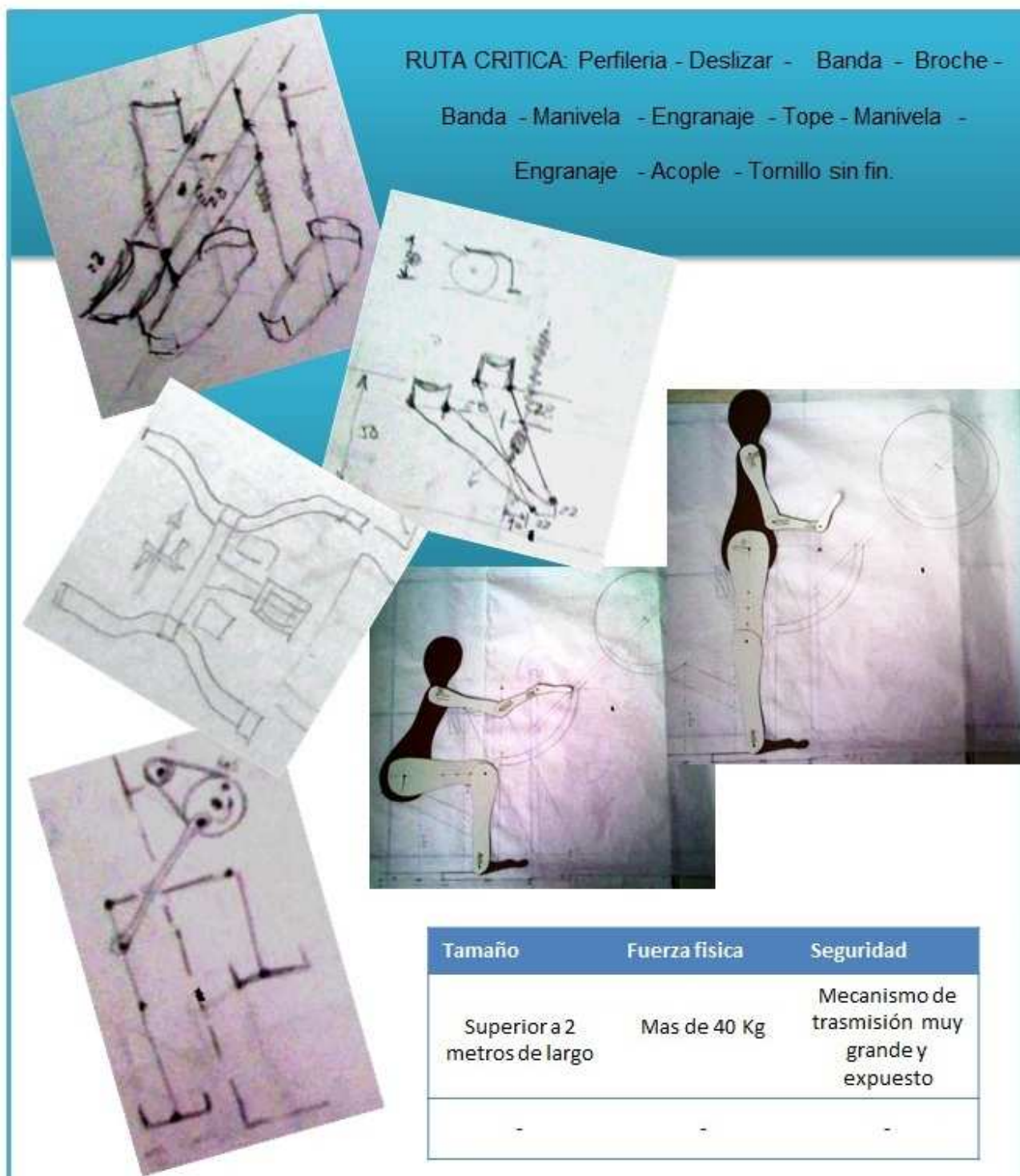
Fuente: Propuestas de diseño realizadas por Luisa Arango y María Duarte

6.5.2 Documentación de la propuesta preliminar final

Teniendo seleccionada la alternativa sobre la cual se realizaría un proceso de evolución, se inicia la verificación de las dimensiones que serán necesarias en el mecanismo para tener una ventaja mecánica, que le permita al usuario levantarse a través de la fuerza de sus miembros superiores, siendo ésta entre 10 y 30 Kg.

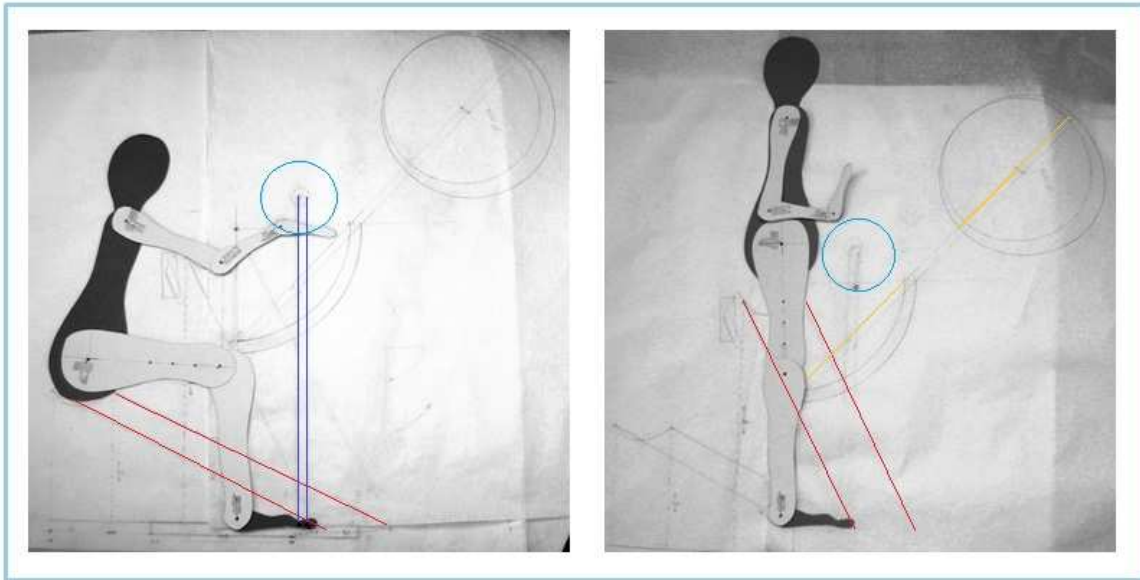
Iniciando con la ruta crítica de color azul, indicada en la tabla 3, y a partir de este momento se inició la construcción geométrica de un modelo 1:2,5 en papel utilizando el ergónomo construido en la etapa de antropometría, este permitió escalar e identificar iteraciones, generando como resultado una distancia entre el usuario y el eje de giro superior a un metro y medio, (ver imagen 17), líneas rojas describen la trayectoria de la silla entre la posición sentado a de pie, las líneas azules muestran el eje sobre el cual estaría el tornillo sin fin y las líneas amarillas muestran la circunferencia trazada por la bielas que se requieren para llevar la cintura y rodilla a una posición de 90° en flexión, quedando así descartada por tamaño.

Figura 17. Propuesta de evolución de diseño uno (1)



Fuente: Evolución de propuestas de diseño realizadas por Luisa Arango y María Duarte

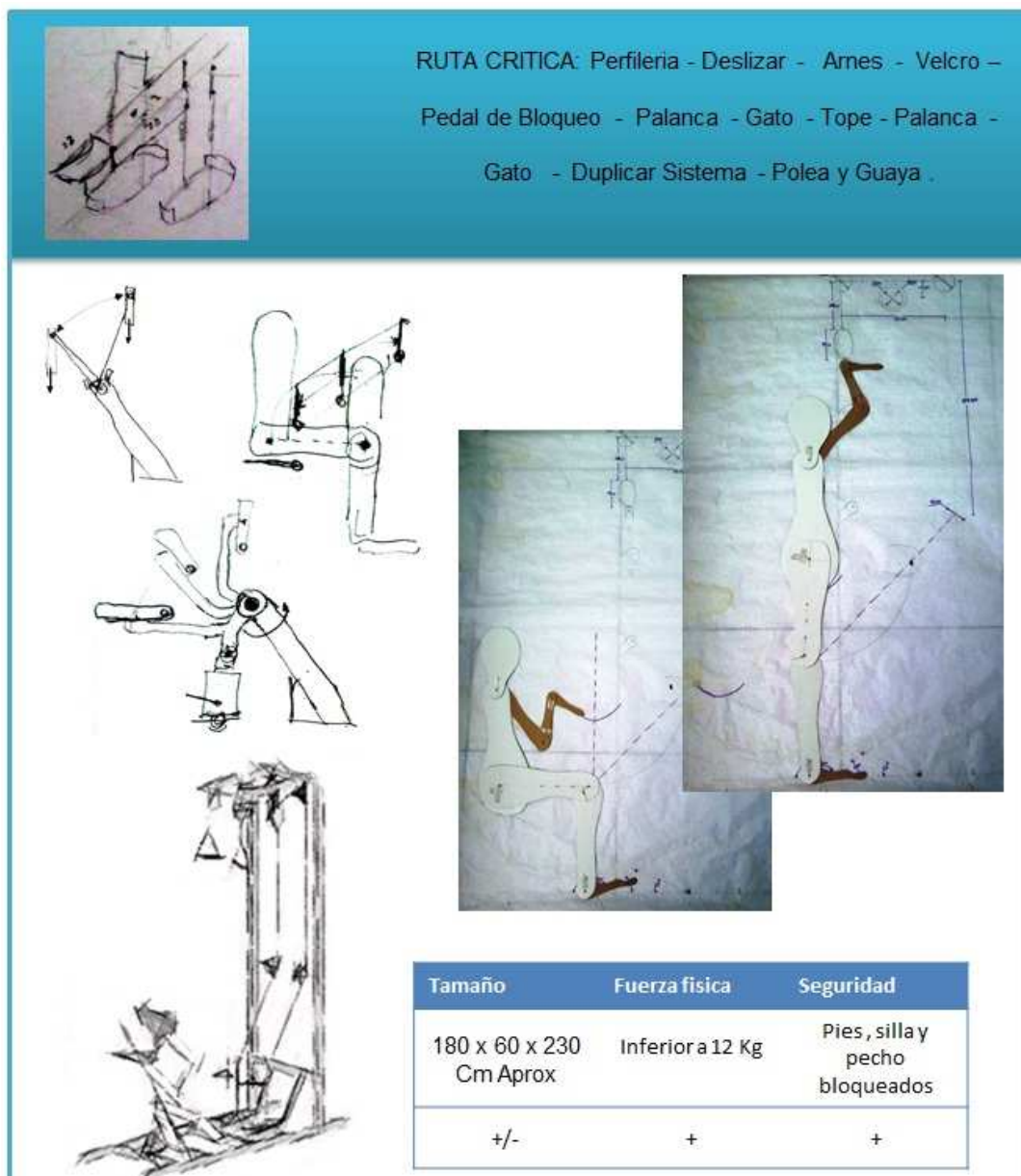
Figura 18. Construcción geométrica propuesta 1



Fuente: Realizado por Luisa Arango y María Duarte

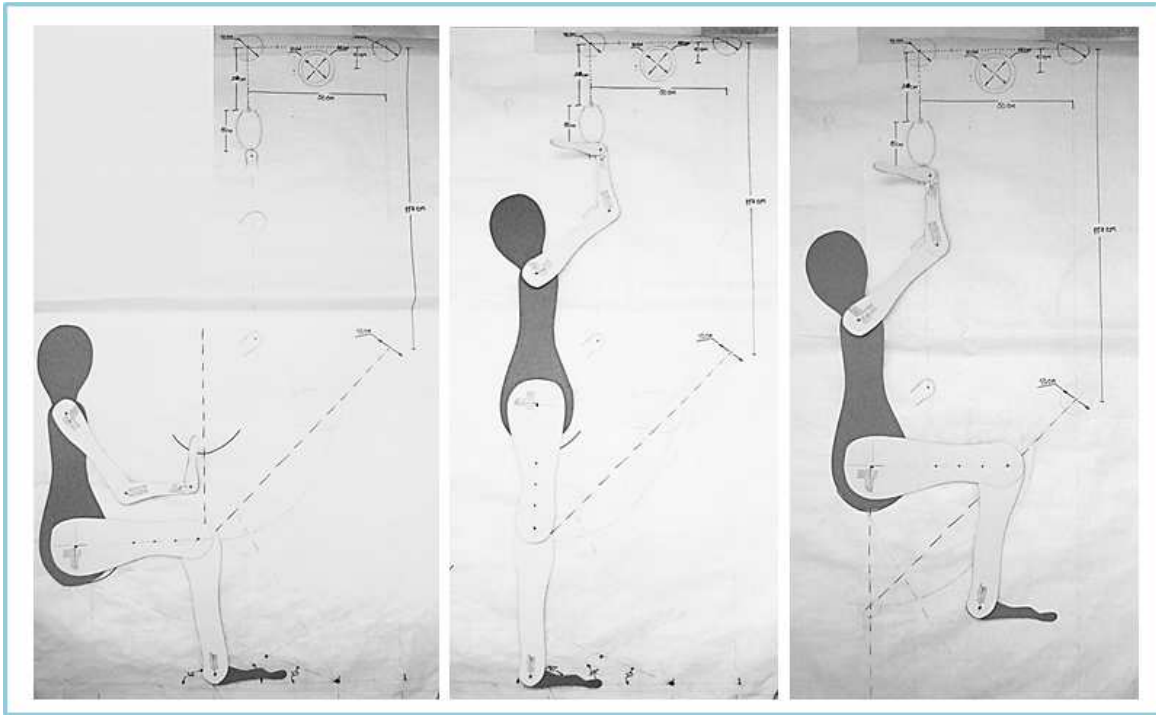
En la evolución de la propuesta anterior se cambia la ruta crítica ver Tabla 3 color rojo, dividiendo las funciones de bipedestación y movimiento de piernas, quedando un sistema hidráulico para levantar el peso total del usuario en el cual se genere un grado alto de ventaja mecánica y un sistema de guaya y poleas para levantar el peso de la pierna con un grado de disminución de fuerza, dejando por debajo de 12 Kg el esfuerzo máximo realizado.

Figura 19. Propuesta de evolución de diseño dos (2)



Fuente: Evolución de propuestas de diseño realizadas por Luisa Arango y María Duarte

Figura 20. Construcción geométrica propuesta 2



Fuente: Realizado por Luisa Arango y María Duarte

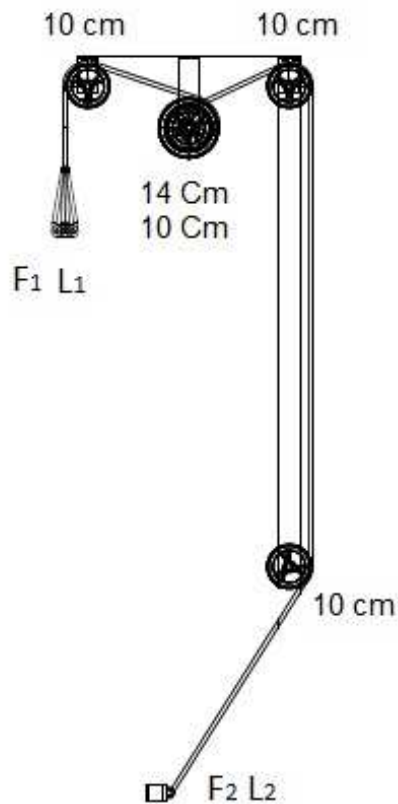
A través de construcción geométrica de la propuesta 2, se desarrollaron todos los movimientos que debería realizar el usuario en un mínimo espacio y que a su vez permitiera cumplir el mayor número de requerimientos del PDS, al tener un resultado positivo en los 3 mecanismos planteados (pararse, mover miembros inferiores a 90° en cadera y rodillas y posición inicial en tobillo o 0° y ejercita los miembros inferiores) se continua con los cálculos específicos de cada mecanismo.

6.6 Fase diseño de detalle

6.6.1 Cálculos de ingeniería

- Cálculo de las poleas

Figura 21. Sistema de poleas que permite levantar cada pie.



$$F_1 < F_2$$

$$L_1 > L_2$$

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$L_2 = \frac{Q_2}{Q_1} \times L_1 = \frac{10}{14} \times 65 = 46.4$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$F_1 = \frac{Q_2}{Q_1} \times F_2 = \frac{10}{14} \times 15 = 10.7$$

F1 = Fuerza o Torque que realiza el paciente para jalar la polea.

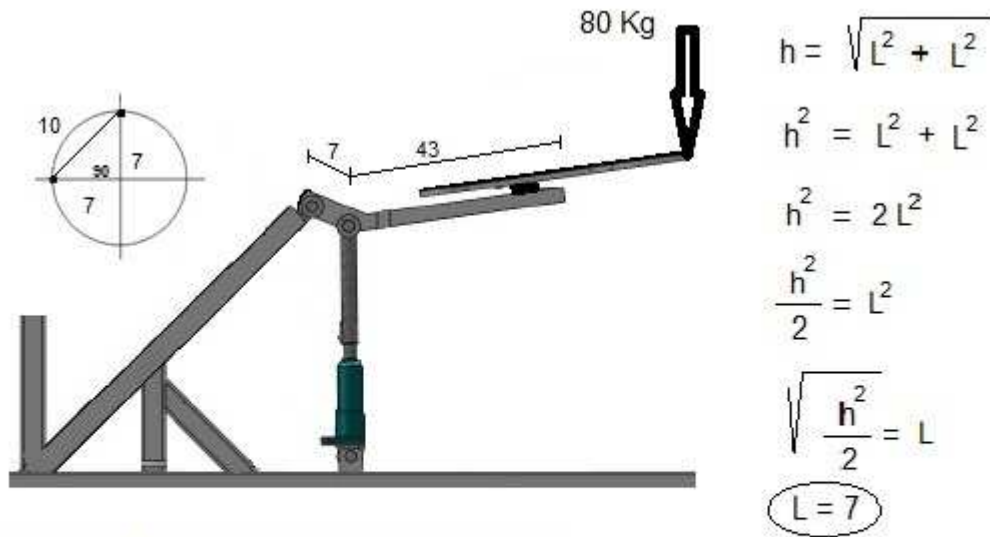
L2 = distancia que recorre la guaya

Fuente: Realizado por Luisa Arango y María Duarte

- Cálculo eje de rotación silla y momento de la palanca

L = 7 cm es la distancia que debe haber entre el eje que articula la silla y el eje que pivota el gato, para que la silla tenga una posición completamente horizontal cuando el usuario este sentado y una posición completamente vertical al estar parado.

Figura 22. Rotación silla y momento de la palanca



Momento = Fuerza x longitud de la palanca

$$M = 780\text{N} \times 0,43\text{m}$$

$$M = 335,4 \text{ Nm}$$

Fuente: Realizado por Luisa Arango y María Duarte

6.6.2 Modelación

Finalmente después del proceso de diseño se realizó la modelación del bipedestador preliminar, teniendo en cuenta las dimensiones antropométricas anteriormente descritas. En la Figura 23 se muestra una imagen del bipedestador preliminar.

Figura 23. Isométrico Bipedestador



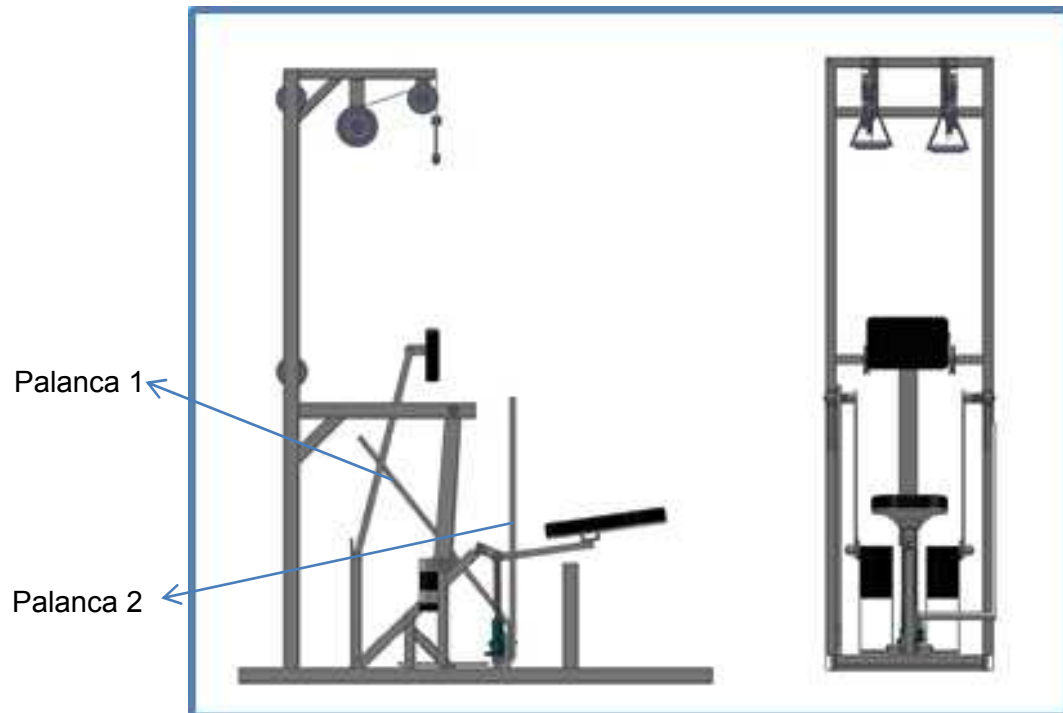
Fuente: Modelación elaborada por Luisa Arango y María Duarte

La función principal del bipedestador es poner de pie al usuario que está diagnosticado con lesión medular incompleta. Lo anterior sucede mediante el uso de un gato hidráulico accionado a través de una palanca (Ver Figura 24, palanca 1) que permite que el usuario suba lentamente hasta alcanzar una posición bípeda. Adicionalmente el usuario puede ejercitar los miembros inferiores y superiores, esto mediante un sistema de poleas que accionado con la fuerza de los brazos, hace que los miembros inferiores lleguen a una posición de 90° en flexión en cadera y rodilla y 0° en pie. Finalmente el usuario mediante el uso de otra palanca libera el gato y baja hasta quedar sentado (Ver Figura 24, palanca 2).

Cuando una persona diagnosticada con lesión medular incompleta, puede ponerse de pie con ayuda de medios externos, los huesos soportan el peso del cuerpo, evitando que haya una pérdida ósea (osteoporosis). Además cuando se hace terapia física en

miembros inferiores se evita la pérdida del arco de movimiento, la alteración del tono muscular, las articulaciones pegadas o rígidas y el acortamiento de los tendones.

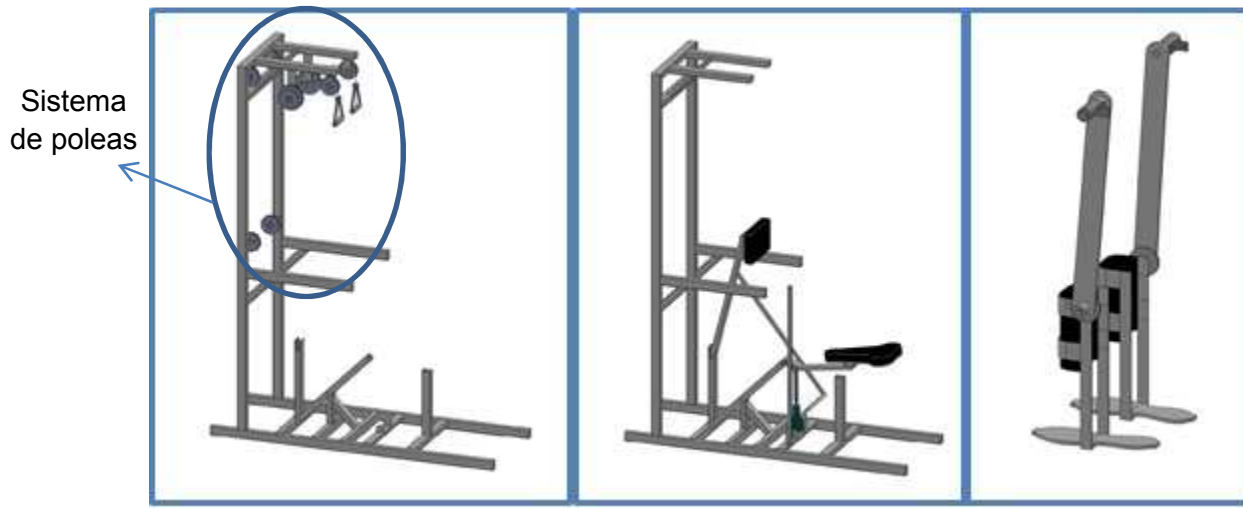
Figura 24. Vistas lateral y frontal de modelación preliminar de bipedestador.



Fuente: Modelación elaborada por Luisa Arango y María Duarte

Como se muestra en la Figura 25, el bipedestador consta de tres sistemas principales, el primero es la estructura que debe soportar al usuario y los demás sistemas, el segundo es el sistema de bipedestación que permite que el usuario se ponga de pie, mediante el uso de una palanca que acciona el gato hidráulico, éste genera un movimiento que mueve el sistema de barras, haciendo que la silla donde se ubica el usuario pase de posición horizontal a posición vertical, el tercero es el sistema de poleas, éste hace que mediante la fuerza de los brazos se genere movimiento en las piernas.

Figura 25. Sistemas del Bipedestador



Fuente: Modelación elaborada por Luisa Arango y María Duarte

Ver Anexo C. Planos preliminares de diseño del Bipedestador.

6.6.3 Simulación

La simulación mecánica permite visualizar el movimiento que se genera en el sistema. Se puede ver como el usuario sube, el movimiento que genera en cada uno de los miembros inferiores y la forma en que el usuario baja.

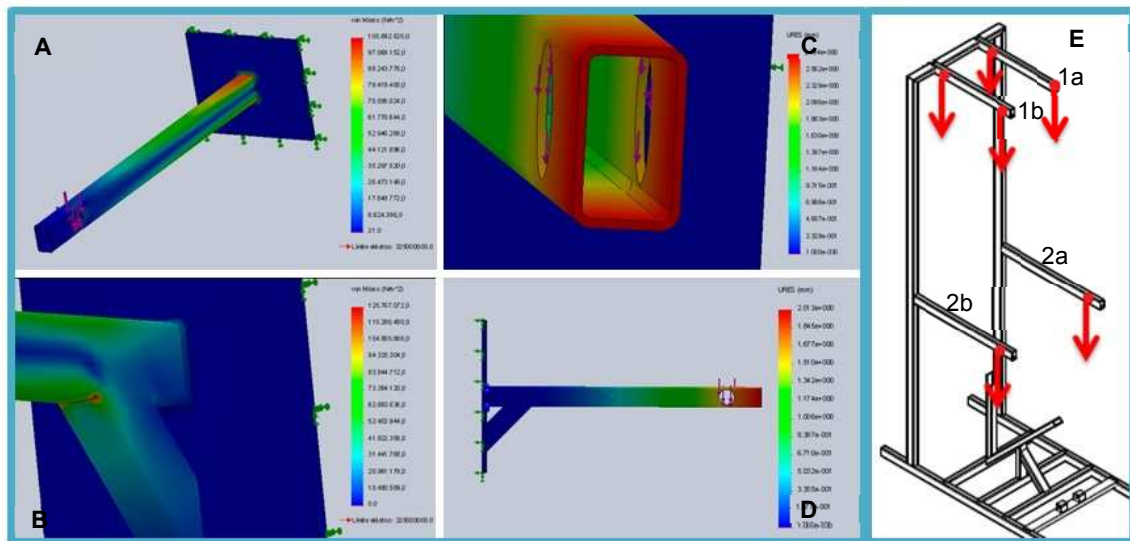
Ver Anexo D. Video simulación mecánica.

6.6.4 Análisis FEA (Finite Element Analysis)

Se realiza un análisis preliminar de la estructura donde por objetivo se toman cuatro piezas (1a, 1b, 2a y 2b), como se muestra en la Figura 26E, que se identificaron por ser sometidas a un mayor esfuerzo, al soportar el peso que genera el usuario al operar el mecanismo, buscando entender la respuesta estructural que ésta pueda entregar.

Para este análisis, se toma como herramienta el módulo de elementos finitos del programa SOLID WORKS, aislando cada una de las piezas a evaluar.

Figura 26. Análisis de elementos finitos a piezas sometidas a mayor esfuerzo.



Fuente: Análisis de elementos finitos realizado por Luisa Arango y María Duarte

Estas piezas son partes de la estructura donde el peso de la pierna del usuario está soportado en la viga superior o en la inferior.

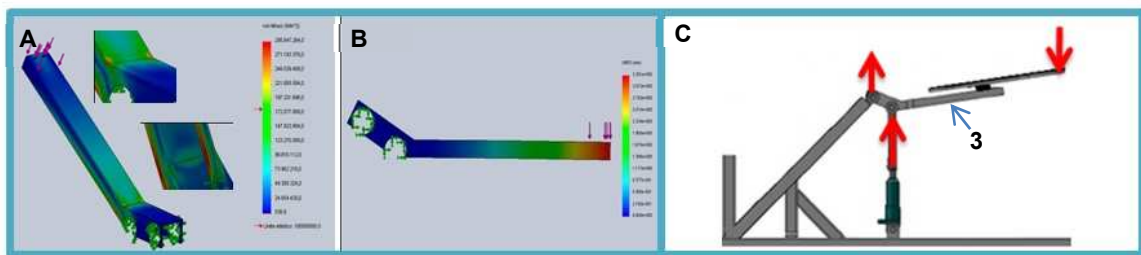
A cada una de estas piezas 1a, 1b, 2a y 2b, se les aplica una fuerza de 400N equivalentes a 40.79Kg, ya que el peso máximo en una pierna está entre el 10% y 18% del peso total del cuerpo.

Como resultado encontramos en la Figura 26B una tensión máxima de 105.9 Nm y un desplazamiento resultante de la deformación de 2.79 mm en el punto más crítico.

A partir de este resultado se toma como decisión agregarle a la estructura pie de amigos (soportes) que disminuyan los desplazamientos en los puntos críticos.

Adicionalmente para la construcción del prototipo se toma la decisión de aislar la perforación de la estructura agregándole una pieza soldada que la sostenga.

Figura 27. Análisis de elementos finitos a pieza principal del sistema de la silla



Fuente: Análisis de elementos finitos realizado por Luisa Arango y María Duarte

La pieza 3 es el soporte y palanca de la silla donde se tiene el peso total del usuario. A ésta pieza se le aplica una fuerza de 800N equivalentes a 81.58Kg, peso que se encuentra por encima del percentil del usuario elegido.

Como resultado encontramos en la Figura 24 una tensión máxima de 295.9Nm y un desplazamiento resultante de la deformación de 3.35mm en el punto más crítico.

A partir de este resultado, se toma como decisión para el prototipo agregarle a la estructura un soporte vertical en la mitad de la silla, que sostenga todo el peso, cuando el usuario este sentado.

6.7 Fabricación prototipo funcional.

El prototipo funcional, como se muestra en la Figura 28, se fabricó en su mayoría con tubería rectangular de acero de 40 X 60 X 2.5 mm, también se usó perfilaría en u de 2" X

25 mm, platina 3/16 X 2", 1 1/2" y 2 1/2", platina 1/8 X 1 1/2", ejes 1", 3/4" y 1 1/2" y lámina 3/16". En el Anexo E se encuentra la lista de partes, donde se especifica cuánto material se necesita para la fabricación de cada pieza, así mismo se muestran los costos de fabricación del prototipo funcional. Los procesos de fabricación fueron corte, fresado, doblado, perforado, soldadura y pulido. Para darle el acabado se utilizó pintura electrostática blanca. De igual forma se usaron piezas comerciales como poleas en aluminio, guayas, pin candado y tornillería en general. Ver Anexo F. En el que se muestra el proceso de manufactura del Bipedestador.

Figura 28. Prototipo funcional del Bipedestador



Fuente: Fotografías tomadas en pruebas de usuario y durante la fabricación del prototipo.

7. PROTOCOLO DE PRUEBAS DE USUARIO

Con base en el Protocolo de pruebas de usuario que presenta las pautas y pasos a seguir, que se deben tener en cuenta en el momento de aplicarlas, se realizó verificación e inspección del bipedestador con la ayuda de dos personas en situación de discapacidad diagnosticados con lesión medular incompleta, bajo la supervisión y aprobación de las fisioterapeutas, buscando la correcta operación del equipo, así mismo las condiciones de seguridad y confiabilidad que le pueden ofrecer al paciente. Esta prueba consta de 3 sesiones que se dividen según la persona que realiza la evaluación.

7.1 Pruebas de Inspección visual

En esta parte de la verificación ocurre el primer acercamiento del paciente con el bipedestador. Se realiza una inspección visual por parte de la persona con lesión medular incompleta, de las diseñadoras y de los profesionales de la salud en la cual se identifican aspectos a mejorar, lo que se hizo antes de que el usuario probara el bipedestador. Ver Figura 29, 30

7.1.1 En ésta etapa se encontraron algunos de los siguientes problemas:

- El ancho de la base del bipedestador dificulta el acceso por quedar tan exacto y en algunos casos las ruedas traseras de la silla de ruedas chocan contra la estructura.
- La silla del bipedestador se encuentra muy alta respecto a la altura de las sillas de ruedas, impidiendo que se deslice fácilmente, necesitando la ayuda de terceros para acceder al equipo.
- Los laterales son muy cortos y no sirven como un punto de apoyo para que las personas se sostengan mientras acceden al equipo.

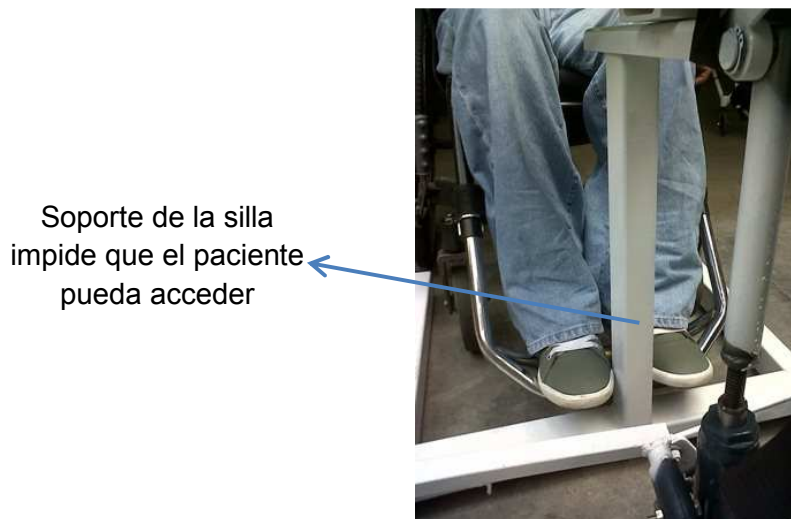
- No todas las silla de ruedas son iguales, algunas no podían entrar del todo para acceder a la silla, ya que se golpeaban con la tubería que soporta la silla.

Figura 29. Usuario con lesión medular incompleta realizando inspección visual.



Fuente: Fotografía tomada durante el desarrollo de las pruebas de usuario en la Fundación Amigos de los Limitados Físicos.

Figura 30. Usuario con lesión medular incompleta que no puede acceder al bipedestador por el diseño de su silla de ruedas.



Fuente: Fotografía tomada durante el desarrollo de las pruebas de usuario en la Fundación Amigos de los limitados Físicos.

7.1.2 De igual forma se encontraron aspectos positivos en este primer acercamiento del usuario con el bipedestador:

- La estructura da la sensación de seguridad, firmeza y estabilidad, ésto hizo que los usuarios accedieran fácilmente a probarlo.
- El uso del bipedestador es sencillo, no requiere de mucha explicación ya que es de fácil entendimiento tanto su funcionamiento como sus beneficios, por consiguiente hay una alta aceptación del usuario por el producto.

7.2 Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento determinan que las condiciones del bipedestador, garantizan la seguridad y cumplen una función útil dentro de la terapia en pacientes con lesión medular incompleta.

Para lo anterior, los usuarios en situación de discapacidad que se seleccionaron en la Fundación Amigos de los Limitados Físicos, usaron el producto e identificaron aspectos puntuales que se deben tener en cuenta en caso de un posible rediseño, cuales son:

El bipedestador no cumplió la función de llevar a 90° en flexión en cadera y rodilla y 0° en pie, mediante la utilización de la manos como motor, ya que el sistema de sujeción de las guía donde van los pies no realizó el movimiento deseado. Ver figura 31,32,33

Figura 31, Figura 32 y Figura 33. Falla en el sistema que genera movimiento indeseado en los pies.



Fuente: Fotografías tomadas durante el desarrollo de las pruebas de usuario en la Fundación Amigos de los limitados Físicos.

El sistema de sujeción del paciente al bipedestador en el área de la espalda no es lo suficientemente grueso para generar sensación de confianza y seguridad al usuario, de igual forma el arnés que sujeta las piernas está soportando todo el peso del cuerpo, pudiendo generar mucha presión, esto puede ocasionar complicaciones ya que ellos no poseen sensibilidad en esta zona del cuerpo. Ver Figura 34

Figura 34. Generación de puntos de presión en el paciente.



Fuente: Fotografía tomada durante el desarrollo de las pruebas de usuario en la Fundación Amigos de los limitados Físicos.

Se identificaron aspectos positivos en el uso del bipedestador, tales como:

- Aunque el usuario no puede acceder al bipedestador por sí solo, después de estar en posición y asegurado, él puede llegar a la posición bípeda usando los miembros superiores y sin requerir ayuda externa como se muestra en la Figura 35.

Figura 35. Usuario que logró la posición bípeda sin ayuda externa



Fuente: Fotografía tomada durante el desarrollo de las pruebas de usuario en la Fundación Amigos de los limitados Físicos.

- Después de realizado el ejercicio es fácil y seguro bajar.

Figura 36. Sistema para bajar la silla del bipedestador.



Palanca para
accionar bajar
el gato.

Fuente: Fotografía tomada durante el desarrollo de las pruebas de usuario en la Fundación Amigos de los limitados Físicos.

Después de realizar las Pruebas de Usuario, se concluyó lo siguiente:

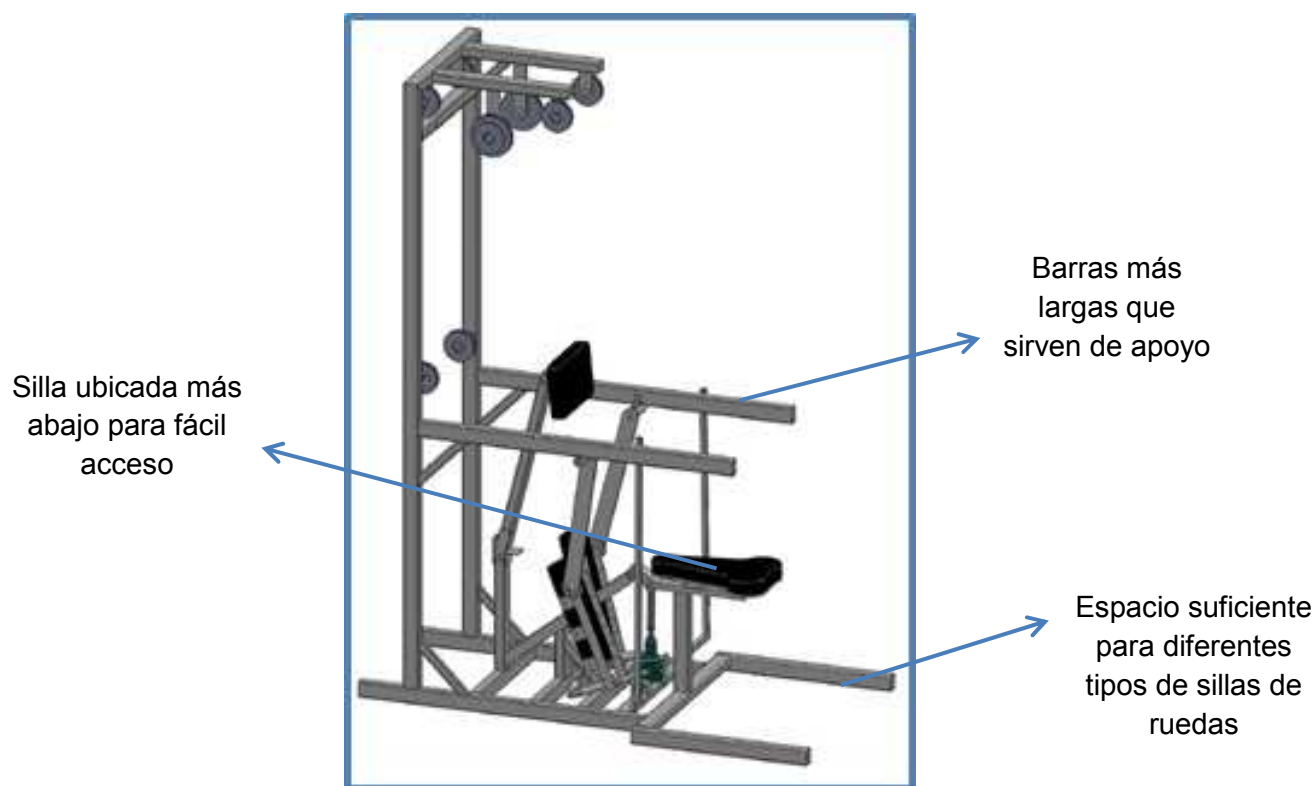
- El bipedestador genera satisfacción y curiosidad al usuario, siente que con éste realiza los ejercicios en miembros inferiores considerados dentro de la terapia física y le ayuda a mantener los arcos de movimiento y la salud en las articulaciones.
- Es necesario hacer rediseño del Bipedestador, ya que en las pruebas de usuario se evidenciaron aspectos por mejorar indispensables para su correcto funcionamiento. Especialmente de deben mejorar las condiciones de acceso y el sistema de barras que soporta los miembros inferiores.

Ver Anexo G Protocolo de Pruebas de Usuario y Anexo H video en el cual se evidencian las pruebas de usuario realizadas por Jorge Alexander Cortes el día miércoles 12 de Octubre de 2011.

8. REDISEÑO

Después de haber realizado las pruebas de usuario, se identificaron algunos aspectos a mejorar en el diseño del bipedestador. Por esta razón se decidió hacer un rediseño que permitiera el correcto funcionamiento de todos los sistemas.

Figura 37. Isométrico Bipedestador rediseñado



Fuente: Rediseño modelación elaborada por Luisa Arango y María Duarte

8.1 Para facilitar el acceso de los usuarios se realizaron varios cambios:

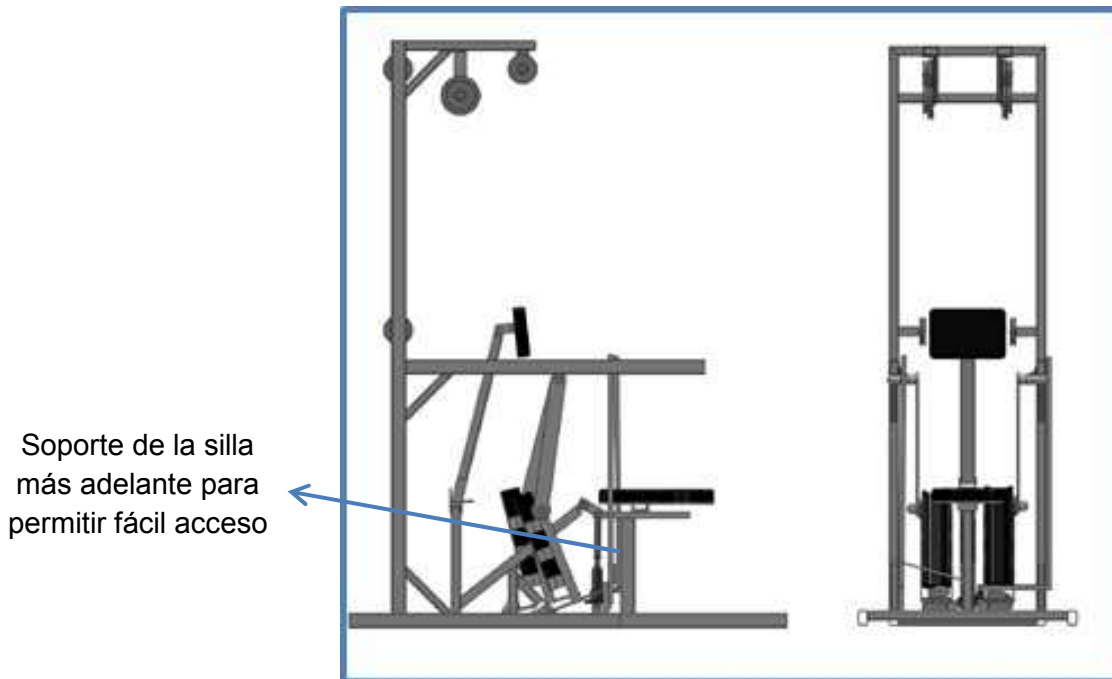
8.1.1 La silla se ubicada a la misma altura de la silla de ruedas, para que el usuario se pueda deslizar fácilmente.

8.1.2 La entrada al bipedestador se hace más ancha para permitir el ingreso de cualquier tipo de silla de ruedas.

8.1.3 Se alargaron las barras laterales para que sirvan de apoyo y faciliten el acceso de la persona al sistema.

8.1.4 El soporte de la silla de reubicó para evitar el bloqueo a la entrada.

Figura 38. Vistas lateral y frontal Bipedestador Rediseñado



Fuente: Rediseño modelación elaborada por Luisa Arango y María Duarte

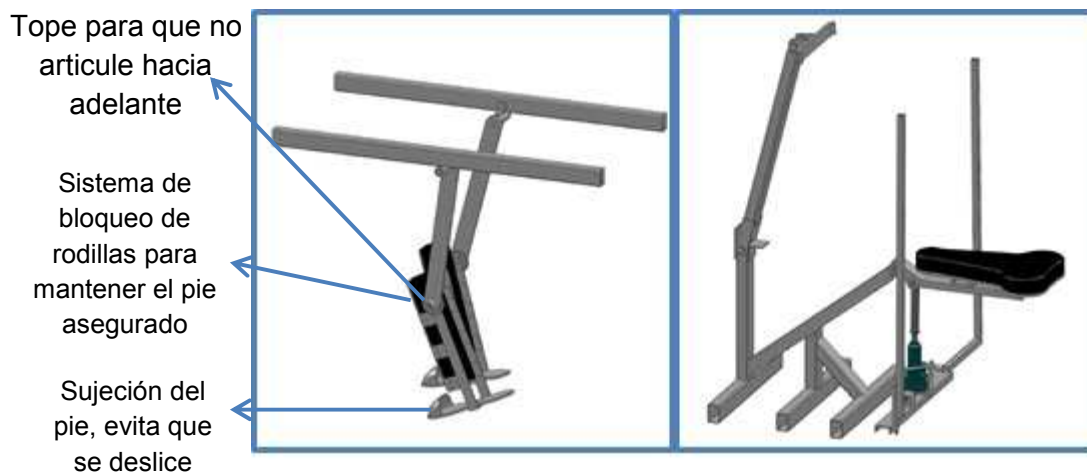
8.2 El sistema que ayuda a subir las piernas del usuario también fue susceptible de cambios, algunos de estos fueron (Ver Figura 39):

8.2.1 Tope en la bisagra del sistema de barra que sostiene los miembros inferiores, para que no articule hacia adelante cuando se accione.

8.2.2 El bloqueo de rodillas se ubicó más alto para proporcionar mayor soporte a la rodilla, ésta permite que se llegue a una posición totalmente bípeda. De igual forma el sistema de sujeción se realiza en tres puntos de la pierna para mayor seguridad.

8.2.3 La plantilla del pie posee un sistema que lo fija, evita que se deslice y que se salga de la guía.

Figura 39. Sistemas del Bipedestador rediseño



Fuente: Rediseño modelación elaborada por Luisa Arango y María Duarte

9. MATRIZ DE CUMPLIMIENTO DE PDS

En la tabla 4 se observa la matriz de cumplimiento del PDS, en la cual se muestra el resultado de del requerimiento, es decir si se cumplió o no.

Tabla 4. Matriz de cumplimiento de PDS

REQUERIMIENTO	MÉTRICA	UNIDAD	VALOR	RESULTADO	OBSERVACION
El aparato permite ser operado con las manos del paciente	Fuerza máxima aplicada a los mecanismos	Newton	$X < 250$	Cumple	
El aparato le brinda independencia al paciente	Número de personas que le ayudan	Unidades	= 1	No cumple	
El aparato complementa la terapia física y refuerza el ejercicio en miembros inferiores	Subjetiva	Grado de satisfacción siendo 1 el mínimo y 5 el máximo[1] calificación	Mínimo 3	4	Definida por el usuario
El paciente ejercita los miembros superiores	Fuerza ejercida para activar el bipedestador	Newton	100 a 200	Cumple	Pasarse al bipedestador Realizar movimiento a 90 grados
El aparato lleva a la persona a posición bípeda y las articulaciones de miembros inferiores a 90°	Comparación número de estímulos que alcanzados después de una sección[3]	NA	NA	PARCIALMENTE	Falta pin de bloqueo de rodilla
El aparato recicla la energía generada con las	Mecanismos de accionamiento	%	100	Cumple	

manos para mover el resto del cuerpo	nto humano				
El aparato ayuda a mantener el arco de movimiento en cada paciente [8]	Movilidad en articulaciones durante 1 año de uso	Grados en flexión	De 0° a 90	PARCIALMENTE EN PRIMERA PRUEBA	0 - 45° Falta pin de rodilla
El aparato evita que los músculos se contracturen	Tiempo de uso Vs tiempo de evaluación	Años	1	NO DISPONIBLE	
El aparato mantienen los arcos de movimiento actuales en miembros inferiores y evita la degeneración	Tiempo de uso Vs grado de salud en miembros inferiores	Meses	6	NO DISPONIBLE	
El aparato debe llevar al paciente a una posición bípeda.	Articulaciones en posición 0° (completamente vertical)	Grados	0	CUMPLE	
El producto es de fácil ensamble	# de mecanismos	Cantidad	$X < 5$	CUMPLE	
Las piezas se construyen con procesos de manufactura convencionales.	Procesos especiales necesarios para la construcción.	Cantidad	$X < 1$	CUMPLE	
Los materiales del aparato deben resistir un peso aproximado de 100 Kg	Peso	Kg.	$X \geq 100$	CUMPLE	
Los materiales	Tiempo de	Años	$X \geq 5$	NO	

del aparato resisten múltiples ciclos de uso	vida útil			DISPONIBLE	
El aparato puede contener a una persona de forma segura La máquina es desarmable	Longitud Numero de partes para ensamble y desensamble	Milímetros Cantidad	1800X635 X2355 $10 \geq X$	NO CUMPLE	
El aparato posee sistemas de sujeción para sostener al paciente	Puntos de sujeción	Cantidad	≥ 3	4	
El aparato posee sistemas de sujeción para sostener al paciente Superficies acolchadas que reducen la presión en la piel superior a la de los capilares cutáneos	Puntos de sujeción Tiempo de exposición máxima	Cantidad Minutos	$X \geq 3$ 15 min	PARCIALMENTE	
El paciente se siente cómodo usando el producto El paciente se siente cómodo usando el producto	Pruebas[6] Distancia entre puntos de sujeción ajustables al usuario	Cumple /No cumple Milímetros	Cumple 5	CUMPLE	
Armonía visual entre el producto, el usuario, su uso y el contexto.	Nivel de afinidad de los usuarios finales, siendo 1 mínimo y 5 máximo [7]	Calificación	$X \geq 3$	4	
El bipedestador no se volteo durante el uso	Distancia del centro de masa del usuario y el bipedestador	Centímetros	$X > 20$	CUMPLE	

Armonía visual entre el producto, el usuario, su uso y el contexto. El lenguaje visual de la maquina debe ser de fácil comprensión para el usuario.	Aceptación por parte del usuario Tiempo usado por el usuario para entender el uso del bipedestador	Subjetivo en escala de 1 a 5 Minutos	X>3 2	CUMPLE	
---	---	--------------------------------------	----------	--------	--

Fuente: Realizado por Luisa Arango y María Duarte

CONCLUSIONES

Después de haber desarrollado y fabricado un prototipo funcional de un bipedestador que como aparato ortopédico se diseñó para personas con lesión medular incompleta, las conclusiones más relevantes en este proyecto son las que se enumeran a continuación, respondiendo a los objetivos que se van señalando y que se plantearon al inicio del mismo:

3.1 Desarrollar un bipedestador que permita a las personas con lesión medular incompleta ponerse de pie y además realizar terapia física de miembros inferiores y superiores.

- Como se observa en la realización de este proyecto, se logró el objetivo principal, cual era desarrollar un bipedestador, llevar al usuario a una posición de pie usando la fuerza de los miembros superiores, mediante el accionamiento de un gato hidráulico que da suficiente ventaja mecánica para que éste levante su peso con un esfuerzo mínimo.

Aunque la finalidad el bipedestador fue desarrollado para personas diagnosticadas con lesión medular incompleta, durante la observación, la participación en las terapias y las entrevistas, se pudo identificar que también lo pueden usar personas con diferentes padecimientos tales como: parálisis cerebral, distrofia muscular, esclerosis múltiple (en sus primeras etapas) y otros tipos de padecimientos y síndromes porque con él pueden realizar terapia física básica.

El bipedestador refuerza la terapia física, en especial en los miembros inferiores, la que en estos miembros, como se pudo observar es reducida, ayudando a complementar la terapia física que desarrollan los fisioterapeutas en pacientes con lesión medular simple.

3.2.1 Conocer las motivaciones que llevan a persona con lesión medular incompleta a abandonar la terapia que hace que sus miembros inferiores no se atrofien totalmente, mediante entrevista y observación participante a como mínimo dos

personas del personal médico de una institución relevante dentro de la ciudad de Medellín y por lo menos a dos pacientes atendidos por esta institución.

Se estableció contacto con la Fundación Amigos de los Limitados Físicos, ubicado en la ciudad de Medellín, en donde se contó con la colaboración de la Sicóloga María Cristina Mesa, las Fisioterapeutas Elizabeth Escobar y Elizabeth Zapata y 4 pacientes en situación de discapacidad, diagnosticados con lesión medular incompleta, con los cuales se realizó observación participante y entrevistas.

De las entrevistas con los usuarios y la observación directa se pudo concluir que las personas diagnosticadas con lesión medular incompleta abandonan la terapia física por múltiples razones, entre ellas: La falta de acompañamiento de las fundaciones, las promotoras de salud y sus familias, los elevados costos que acarrea el desplazamiento hasta los lugares para realizar terapia física, la falta de recursos físicos en las instituciones para realizarla, por la falta de acompañamiento psicológico para aceptar su discapacidad, entre otras.

3.2.2 Orientar el producto a que pueda ser usado en el hogar o en cualquier centro de rehabilitación que genere independencia en los pacientes con lesión medular incompleta.

- El bipedestador es difícil de tener en el hogar por su peso y dimensiones.
- Se evidenció que estos pacientes siempre requieren de supervisión cuando realizan las terapias físicas con la finalidad de evitar que sufran accidentes que puedan complicar su condición, no lográndose generar el grado de independencia que se pretendía con el bipedestador.
- Aunque el usuario no puede acceder por sí mismo al bipedestador, después de estar posicionado y asegurado a éste, él puede ponerse de pie, usando la fuerza de sus manos, mediante el accionamiento del gato.

3.2.3 Construir un modelo funcional del bipedestador que permita realizar pruebas en pacientes con lesión medular incompleta, mediante la utilización de los talleres de diseño de productos de la Universidad Eafit.

- Se fabricó un prototipo funcional, que permitió identificar los puntos a mejorar en el bipedestador, pudiendo realizar las pruebas de usuario para hacer una aproximación del comportamiento real del sistema.

Se encontraron varias dificultades cuando se realizaron las pruebas de usuario, como son: difícil acceso en silla de ruedas al aparato porque la entrada era muy estrecha, la silla del bipedestador muy alta, concluyendo que no todas estas son estandarizadas, sino que existen diferentes modelos y tipos, además que el bipedestador requería de pasamanos que proporcionara apoyo, la bisagra en rodilla carecía de tope, lo mismo que la plantilla, el bloqueo de rodilla debía ser más alto.

- Según la tabla de costos realizada para el prototipo funcional el valor final de éste es más económico, en comparación con el precio de los Bipedestadores que hay en el mercado y que cumple funciones similares.

3.2.4 Aplicar un protocolo de pruebas de usuario para validar el cumplimiento de las especificaciones de diseño de producto.

- El día 12 de octubre de 2011 hasta las instalaciones de la Fundación Amigos de los Limitados Físicos se llevó el prototipo de Bipedestador diseñado y fabricado y las estudiantes realizaron las pruebas de usuario con las personas que durante todo el proyecto participaron en el mismo, tales como las personas con la discapacidad medular incompleta, los fisioterapeutas y los diseñadores, aplicándose el protocolo, identifican los

puntos a mejorar en el diseño del bipedestador, para optimizar su uso. (Ver numeral 7. Pruebas de Usuario)

BIBLIOGRAFIA

LIBROS

LESMER, J Daza. Examen de Movilidad Articular. Panamericana. Edición 1. ISBN 958-9181-23-6.

Organización Panamericana de la Salud en las Américas. La Salud en las Américas Edición 2002. Vol. I. ISBN 92 75 31587 6 Código: PC 587.p 193

RIVAS, Roque Ricardo. Ergonomía en el diseño de productos, Buenos Aires: Nobuko 2007. ISBN 978987584089

TILLEY, Alvin R. HENRY DREYFUSS ASSOCIATES. The Measure of Man and Woman. Human Factors in Design. New York.: John Wiley & Sons 2002. Pág 12. ISBN 0-471-09955-4.

PAGINAS WEB

Ceapat, Catálogo de productos de apoyo, <http://www.catalogo-ceapat.org/clasificacion/04/48/08> [Citado el 17 de septiembre de 2011]

Colombia. Documento Conpes social 80. Política Pública Nacional de Discapacidad, Bogotá, D.C., 26 Julio de 2004. Disponible en internet en

<http://www.dnp.gov.co/PortalWeb/Portals/0/archivos/documentos/Subdireccion/Conpes%20Sociales/080.pdf>.Última consulta: 22 de octubre de 2009

Guidominusval, Bipedestadores, <http://www.guidominusval.com/bipedestadores.html>
[Citado el 17 de septiembre de 2011]

Munay Pilates, Salud artículos de interés, la relajación y la respiración. Disponible en internet en www.munaypilates.com.ar/salud-articulos. [Citado el 16 de Septiembre de 2011]

Organización Lesión Medular, Lesión medular básico, www.lesionmedular.org, [Citado el 10 de julio de 2011]

Portales Médicos. Diccionario. Disponible en internet en http://www.portalesmedicos.com/diccionario_medico/index.php/Contractura [Citado el 24 de Noviembre de 2011]

Real Academia de la lengua, definiciones, Disponible en internet en <http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?LEMA=fisioterapia> [Citado el 24 de Noviembre de 2011]

Rodríguez Ospina Sarah. Revisión de los estudios sobre situación de discapacidad en Colombia 1994 – 2001. Disponible en Internet en www.discapacidadcolombia.com.
Última consulta: 19 de octubre de 2009.

Scoliosis Spine Associates <http://www.scoliosisassociates.com/subject.php?pn=terapia-fisica-038>. [Citado el 16 de Septiembre de 2011]

Smith Nathalie, MSN, RN. Cuadriplejía y Paraplejía. 2009. Disponible en Internet en www.healthlibrary.epnet.com/. Ultima consulta: 20 de octubre de 2009.

Tecnum, Movilidad, rehabilitación, inversores y bipedestadores <http://www.tecnum.net/inversoresbipedestadores.php> [Citado el 17 de septiembre de 2011]

DOCUMENTOS

Colombia. Ministerio de Salud. Resolución Numero 5261 de 1994. Agosto 5. Por la cual se establece el Manual de Actividades, Intervenciones y Procedimientos del Plan Obligatorio de Salud en el Sistema General de Seguridad Social en Salud. Artículo 84, Código 2911

ENTREVISTAS

Escobar Elizabeth (2011). Fisioterapeuta Fundación Amigos de los Limitados Físicos. (Luisa Arango y María Duarte entrevistadoras)

Paciente 1. (2011). Identificación de pacientes. (Luisa Arango y María Duarte entrevistadoras)

Paciente 2 (2011). Pruebas de Usuario. (Luisa Arango y María Duarte entrevistadoras)

Paciente 3 (2011). Pruebas de Usuario. (Luisa Arango y María Duarte entrevistadoras)

Paciente 4. (2011). Identificación de pacientes. (Luisa Arango y María Duarte entrevistadoras)

Zapata Elizabeth (2011). Fisioterapeuta Fundación Amigos de los Limitados Físicos. (Luisa Arango y María Duarte entrevistadoras)

ANEXOS

ANEXO A. Mood Boards y Referente.

ANEXO B. Identificación Pacientes.

ANEXO C. Planos diseño preliminar.

ANEXO D. Simulación.

ANEXO E. Lista de partes.

ANEXO F. Proceso de manufactura.

ANEXO G. Protocolo de pruebas de usuario.

ANEXO H. Video pruebas de usuario.